

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

BIOPOLYMERY

bakalářská práce

Autor:

Jaroslav Zbořil

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Peter Fečko, CSc.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Jaroslav Zbořil**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904R028 Environmentální biotechnologie
Téma: **Biopolymery**
Biopolymers

Zásady pro vypracování:

1. Úvod - význam řešené práce
2. Biopolymery - vlastnosti, charakteristika
3. Využití biopolymerů v současnosti
4. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

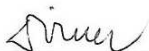
1. Fečko, P. et al.: Environmentální biotechnologie. Ostrava: VŠB-TUO, 2004. 180 s.
2. Bailey, J. E., Ollis, D. F.: Biochemical engineering and fundametals. New York: McGraw Hill Book Company, 1986.
3. Griffin, G. J.: Chemistry and technology of biodegradable polymers. Chapman and Hall, 1999.
4. Rehm, H. J., Reed, G.: Biotechnology. Weinheim: Verlag Chemie GmbH, 1981.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

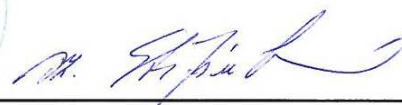
Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Peter Fečko, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2009

Datum odevzdání: 15.04.2010



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce prof. Ing. Petrovi Fečkovi, CSc. za trpělivost a vstřícný přístup při vedení mé práce.

Prohlášení

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 12. 4. 2010

Jaroslav Zbořil

Anotace

Biopolymery jsou na rozdíl od běžně používaných polymerů biologicky rozložitelné v životním prostředí. Běžné polymery je nutné třídit z důvodu ochrany životního prostředí. Netřídí-li se, znečišťují životní prostředí svým shromažďováním na skládkách nebo tam, kde byly ponechány. Tato práce pojednává o velké části dosud známých přírodních a syntetických biopolymerech.

V první části jsou popsány vlastnosti biopolymerů, jako jsou celulóza, škrob, chitin, xylan, pektinová kyselina, inzulín, glykogen, hyaluronová kyselina, proteiny, biopolyestery, polyacid, polyvinyalkohol, polykaprolakton, mater-bi a polyglikoid. U některých významných biopolymerů je popsána jejich historie biopolyesterů, izolace, výroba, degradace a využití biopolymerů. V druhé části je shrnuto jejich využití v současnosti. Jsou zde popsány materiály vyrobené z biopolymerů.

Práce se snaží formulovat ekonomické aspekty využití biopolymerů v minulosti a v budoucnosti a je vybavena rozsáhlým přílohovým aparátem.

Klíčová slova: biopolymery, bioplasty, biopolyestery, PHA, PHB, polyacid PLA, mikroorganismy, biodegradace.

Summary

The biopolymers are, in contrast to commonly used polymers, biologically decomposable in living environment. Because of the protection of the environment the common polymers must be separated. If they are not separated they pollute the environment by means of their gathering in landfill sites or wherever they have been left. This thesis deals with a great part of today known natural and synthetic biopolymers.

In the first part are described the characteristics of biopolymers like cellulose, amyloid, chitin, xylan, pectic acid, insulin, glycogen, hyaluronic acid, proteins, biopolyesters, polyacid, polyvinyl alcohol, polycaprolacton, mater-bi and polyglycid. For some important biopolymers are also included their history of the biopolyesters, isolation, production and degradation. In the second part is summerized their usage in the present. The materials made out of the biopolymers are described here.

The thesis also includes some economic aspects of the usage of the biopolymers of the past and of the future, graphs and tables.

Keywords: biopolymers, bioplastics, biopolyestery, PHA, PHB, polyacid PLA, microorganisms, biodegradation.

Obsah

1	ÚVOD	1
1.1	Cíl práce	2
2	BIOPOLYMERY	3
2.1	Přírodní biopolymery	3
2.1.1	Celulosa.....	4
2.1.2	Škrob	6
2.1.3	Chitin	8
2.1.4	Xylan	9
2.1.5	Pektinová kyselina	9
2.1.6	Inulin	10
2.1.7	Glykogen.....	10
2.1.8	Hyaluronová kyselina.....	10
2.1.9	Proteiny.....	11
2.1.10	Biopolyestery PHB a PHA.....	12
2.1.10.1	Vlastnosti PHB	14
2.1.11	Polyhydroxylalkanoáty (PHA)	15
2.1.11.1	Historie PHA a PHB	16
2.1.11.2	Izolace PHB a PHA	19
2.1.11.2.1	Extrakce pomocí rozpouštění	19
2.1.11.2.2	Chemické loužení	20
2.1.11.2.3	Enzymatické loužení.....	22
2.1.11.2.4	Mechanický rozpad (disrupce)	23
2.1.11.2.5	Rozpad využitím kuličkového mlýnu	23
2.1.11.2.6	Vysoko tlaková homogenizace	24
2.1.11.2.7	Superkritická kapalina.....	24
2.1.11.2.8	Využití křehkosti buňky	24
2.1.11.2.9	Třídění vzduchem	25
2.2	Syntetické biopolymery	25
2.2.1	Polymery kyseliny mléčné (Polyacid – PLA)	26
2.2.1.1	Výroba PLA.....	26
2.2.1.2	Vlastnosti PLA	30
2.2.1.3	Biodegradace PLA.....	32

2.2.1.4	Výhody výrobku z PLA.....	33
2.2.2	Polyvinylalkohol PVA	34
2.2.2.1	Vlastnosti PVA	35
2.2.2.2	Využití PVA.....	35
2.2.3	Polykaprolakton (PCL).....	36
2.2.4	Mater-Bi	36
2.2.5	Kyselina polyglykolová (polyglykoid - PGA)	37
3	VYUŽITÍ BIOPOLYMERU V SOUČASNOSTI.....	38
3.1	Materiály z biopolymerů	39
3.2	Ekonomické aspekty biopolymerů	42
3.3	Ekologické aspekty biopolymeru.....	44
4	ZÁVĚR.....	45
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	47
6	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	52
6.1	Seznam obrázků	52
6.2	Seznam tabulek	53

Seznam použitých zkratek

aj.	a jiné
DE	Německo
EDTA	kyselina ethalendiamintetraoctová
GB	Velká Británie
HDPE	vysokohustotní polyethylen
iPP	polypropylen
IT	Itálie
KH	kyselina hyaluronová
P(3HB)	poly (3-hydroxybutyrát)
PCL	polykaprolakton
PE	polyethylen
PET	polyethylen tereftalát
PHA	polyhydroxyalkonát
PHB	poly- β -hydroxybutyrát
PLA	polyacid
PP	polypropylén
PS	polystyrén
PVA	polyvinilalkohol
ROP	Ring-Opening Polymerization
SDS	dodecylsírán sodný
tzv.	tak zvané
US	Spojené státy
USA	Spojené státy americké

1 ÚVOD

V moderní společnosti je součástí našeho života využívání mnoha produktů, které jsou složeny nebo vyrobeny z rozdílných materiálů. Mezi nejběžnější materiály pevného skupenství patří plasty, papír, sklo, kámen a kovy. Tyto materiály se dělí do dalších skupin podle svých vlastností.

Koncem devatenáctého století se začaly vyrábět první syntetické polymery typu umělé slonoviny a bakelitu. Například polyethylen byl poprvé připraven Hansem von Peckmannem v roce 1891. Bohužel, po druhé světové válce se výroba polymeru zvýšila díky svým unikátním vlastnostem jako je lehkost, odolnost, nerozbitnost, pružnost a podobně. Polymery se tak staly součástí každodenního života všech lidí. Avšak nyní v 21. století, kdy se společnost zaměřuje více na ochranu životního prostředí, nastává jeden z vážných problémů, jehož základem je způsob nakládání s odpadními produkty obsahujícími syntetické biologicky nerozložitelné polymery. Doba rozložitelnosti polymeru se pohybuje v řádech desítek až stovek let v závislosti na typu polymeru a prostředí rozkladu.

Jednou z možností, jak nakládat s těmito pro životní prostředí nebezpečnými materiály, je jejich sběr, třídění a recyklace. Zde se však setkáváme s technickými a společenskými problémy, protože ne všichni lidé jsou ochotni účastnit se tohoto procesu. Komunální odpad obsahuje průměrně 14 % biologicky nerozložitelných polymerů.

Vzhledem k postupně se vyvíjejícím a zdokonalujícím se technologiím výroby biopolymerů, snižováním jeho cen, lze předpokládat postupné nahrazení syntetických polymerů biologicky rozložitelnými biopolymery. Toto nahrazování probíhá už v dnešní době. Důvodem je nejen zvýšena potřeba ochrany životního prostředí a klimatu, ale také ekologické trendy moderní společnosti a postupné zvyšování cen fosilních paliv sloužících k výrobě syntetických polymerů

1.1 Cíl práce

Hlavním cílem této práce je především seznámení čtenáře s biopolymery obecně - přírodními a syntetickými, jejich výskytem a vlastnostmi.

Kapitoly, jež pojednávají o významných a hojně rozvíjených biopolymerech, jsou rozsáhlejší a obsahují podrobnější informace jak o historii, tak o výrobě těchto materiálů.

Práce však nenahlíží na problematiku biopolymerů pouze informativně, nýbrž jejím dalším cílem je i nástin potenciálního využití biopolymerů v současnosti a také prezentace možných přínosů celé společnosti.

2 BIOPOLYMERY

Biopolymery je souhrnný název pro sacharidy, bílkoviny a nukleové kyseliny. [4]

Obecně jsou polymery makromolekulární látky složené z monomerů. Monomery tvoří jeden nebo více druhů molekul nebo atomových skupin.

Biopolymery jsou polymery syntetického nebo přírodního původu (přírodní biopolymery). Mohou se skládat ze syntetických látek, ale i z přírodních. Téměř všechny synteticky vyráběné plasty jsou biologickou cestou nerozložitelné, a tím působí značnou zátěž na životní prostředí. Nespornou výhodou biopolymerů je, že se po splnění své funkce rozpadají na fragmenty, které jsou téměř dokonale biodegradabilní a řadí se zpět do látkového koloběhu.

Biopolymery jsou polymery odvozené od biologických zdrojů. Tento termín se v dnešní podobě používá ve dvou významech. Jedná se o biodegradabilní polymery či o polymery, jež se vyrábí z přírodních zdrojů neboli biomasy. V dnešní době již existuje mnoho druhů biopolymerů. Mezi nejvýznamnější patří polymer mléčné kyseliny, bioplasty vyráběné ze škrobu a polyhydroxyalkanoáty. [5]

2.1 Přírodní biopolymery

Termínem přírodní biopolymery označujeme polymery vznikající procesem přirozené metabolické syntézy organických látek v živých organizmech. Většinou mají typickou povahu polymeru složeného z mnoha stejných nebo podobných monomerů. Tedy tvoří velice dlouhé molekulární řetězce s vysokou molární hmotností. Přírodní biopolymery jsou ve velké většině neškodné pro životní prostředí. Jsou nezbytnou součástí všech živých organismů. Rozdílné typy biopolymerů mají různé funkce - stavební, ochranné, metabolické, informační, zásobní a jiné. Po odumření organismu slouží biopolymery jako substrát pro jiné organismy, a tím se aktivně zapojují do koloběhu látek v životním prostředí. Přírodní biopolymery jsou nositelem životně důležitých biogenních prvků (C, H, O, N, P, S). Množství přírodních biopolymerů v životním prostředí může ovlivňovat druhovou skladbu živých organismů respektive druhovou rozmanitost – diverzitu.

Mezi přírodní polymery se řadí především polysacharidy jako celulóza, škrob, chitin, xylan, pektinová kyselina, amylasa, amylopektin, inulin, hyaluronová

kyselina, dermatansulfát, chondroitin-4-sulfát, chondroitin-6-sulfát, keratansulfát, heparin a glykoproteiny a jiné. [1]

Dalšími přírodními biopolymery jsou proteiny. Proteiny, tzv. bílkoviny, jsou složeny z velkého počtu základních 21 aminokyselin, které jsou spojeny peptidovou vazbou, a tvoří tzv. polypeptidy. Polypeptidy mohou mít velice dlouhé řetězce, různou kombinací aminokyselin a různou strukturu molekuly závislou na složení a podmínkách okolí, např. teplota, pH a jiné. [1]

Velice důležité sloučeniny, které se také řadí mezi přírodní biopolymery, jsou neméně významné nukleové kyseliny. Nukleové kyseliny jsou tvořeny z nukleotidu. Nukleotidy obsahují dusíkatou bázi typu adenin, guanin, cytosin, thymin a uracil. Na tyto dusíkaté báze jsou vázány sacharidové složky nukleotidu. Těmi jsou pentosy ribosa a deoxyribósa. Na hydroxidové skupiny těchto sacharidů je vázaná kyselina fosforečná, která s nimi vytváří estery tzv. fosfosacharidy. Jednotka dusíkaté báze, sacharidu a fosforové skupiny je zvaná nukleosid. Nukleosid s esterovou vazbou monosacharidu na kyselinu fosforečnou tvoří nukleotid. Z velkého počtu nukleotidu vznikají nukleové kyseliny propojením fosfátu jednoho nukleotidu a monosacharidu dalšího nukleotidu. [1]

Mezi další skupinu přirozených biopolymerů můžeme zařadit biopolyestery. Biopolyestery jsou polyestery odvozené z bakteriálních zdrojů a jsou tvořeny hydroalkanovými kyselinami. Je to termoplastický polymer schopný biodegradace vyráběný mikroorganismy. [6]

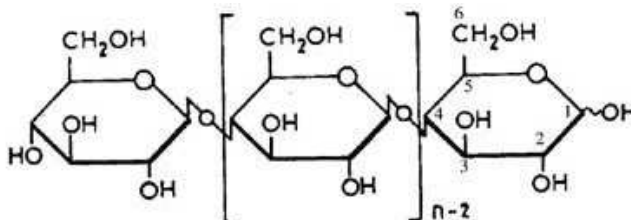
Dalším biopolymerem jsou polyterpeny. Například přírodní kaučuk. Jejich stavebními jednotkami je isopren (2-methylbuta-1,3-dien). [8]

Skupina přírodních biopolymerů má obrovský význam jak v přírodě a životním prostředí, tak v průmyslu. Přírodní biopolymery slouží jako primární substrát pro výrobu sloučenin používaných v chemickém, energetickém, farmaceutickém, potravinářském a stavebním průmyslu a mnoha jiných odvětvích, které jsou významné pro vyspělou lidskou společnost.

2.1.1 Celulosa

Celulosa je polysacharid, organická sloučenina, která je tvořena lineárními řetězci D-glukosy vázané $\beta(1\rightarrow4)$ -glikosidovými vazbami. Lineární vlákna celulosy jsou navzájem silně poutána vodíkovými vazbami. Proto jsou velmi pevná a nerozpustná ve vodě. [1]

Sumární vzorec celulózy je $(C_6H_{10}O_5)_n$. [2] Strukturu celulózy tvoří nerozvětvený řetězec (viz obrázek 1) asi 500 jednotek D - glukózy. Celulóza je základní složkou buněčné stěny zelených rostlin, řas a součástí jiných mikroorganismů. V přírodě se vyskytuje jako nejhojnější stavební biopolymer.



Obrázek 1: Strukturní vzorec celulózy. [2]

Většina živočichů nemá speciální enzymy, které dokážou rozštěpit β 1,4 vazby mezi jednotlivými glukosidovými jednotkami. Proto je pro ně celulóza nestavitelná. V potravě tvoří tzv. vlákninu, která projde trávicím traktem. Bakterie naproti tomu mají schopnost celulózu štěpit a metabolizovat. Při hydrolytickém štěpení celulózy vznikají různé štěpné produkty (cellopentosa, cellotetrosa, cellotriosa, cellobiosa) až po glukózu. Býložravci tedy často hostí ve své trávicí trubici symbiotické bakterie, které celulózu buněčných stěn rozštěpí a umožní tak býložravci zužitkovat energii, která je v ní uložena. Nejznámějšími jsou bezesporu termity nebo přežvýkavci, kteří dokážou symbiotických bakterií využít nejlépe. [2]

V přírodě je nejvýznamnějším biochemickým procesem koloběhu uhlíku rozklad celulózy. Tento biopolymer tvoří 40 – 70 % odumřelou hmotu v závislosti na typu organismu. Bakterie a houby štěpí polysacharidy jako celulózu hydrolytickými enzymy na jednodušší molekuly a v konečné fázi na oxid uhličitý. V případě celulózy jde především o extracelulární celolytické enzymy. Proces biodegradace celulózy je pravděpodobně víceúrovňový. Štěpení je zjednodušeně vyobrazeno následující rovnicí. [3]



Některé typy mikroorganismu mohou využívat celulózu jako jediný zdroj uhlíku. Tyto typy se označují jako obligátně celolytické. Jiné typy jsou řazeny

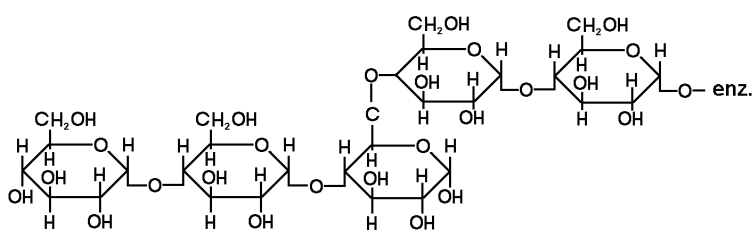
mezi fakultativně ceulolytické, to znamená, že zdrojem uhlíku jsou i jiné látky. Rozklad celulózy probíhá jak za aerobních tak za anaerobních podmínek. [3]

Aerobní rozklad uskutečňují především zástupci myxobakterií a aktinomycet a rodů *Cytophaga*, *Sporocytophaga*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Cellulomonas* a jiné. Bakteriální rozklad probíhá nejlépe v neutrálních a slabě alkalických půdách.

Anaerobní rozklad celulózy je označován jako kvašení celulózy. Produkty kvašení jsou kyselina mravenčí, octová, máselná, mléčná, ethanol, oxid uhličitý a vodík. Tyto produkty jsou substrátem pro další methanogenní a sulfátredukcující mikroorganismy.

2.1.2 Škrob

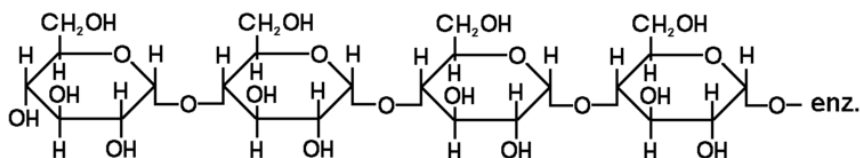
Nejznámějším zásobním rostlinným biopolymerem je škrob. V cytoplazmě rostlinných buněk se nachází v granulích, které se skládají z α -amylosy (10 - 20 %), (viz obrázek 3) a amylopektinu (80 – 90 %). Chemicky podobná celulóze je α -amylosa, ale prostorovou strukturou je zcela odlišná, neboť proti β -glykosidovým vazbám v celulóze se v α -amylosae objevují vazby α -glykosidové. Je to (1 \rightarrow 4)- α – D-glukopyranan. Toto složení nedovoluje tvorbu pevných agregovaných konformací. Jednotlivé řetězce mají α -amylosy mají tvar šroubovice. Amylopektin má větvenou molekulu (viz obrázek 2). Větvení nastává vždy po 24 – 30 glukosových zbytcích. [1]



Obrázek 2: Amylopektin. [7]

V horké vodě vytváří amylopektin škrobový maz. Škrob je důležitou složkou potravy. Trávení škrobu začíná v ústech. Sliny obsahují enzym zvaný α -amylasu, který hydrolýzou rozkládá škrob na celky o méně než osmi jednotkách glukosy. V tenkém střevě na ně působí pankreatická α -amylasa, štěpící řetězce na maltosu a maltotriosu se třemi glykosidovými jednotky a na oligosacharidy dextriny.

Zbytek dalšího trávení vykonávají střevní enzymy α -glukosidasy, α -dextrinasy a sacharózu štěpí laktasa. Tyto monosacharidy vstřebává střevní stěna a převádí je do krevního oběhu. [1]



Obrázek 3: α -amylosy [7]

Plasty odvozené od škrobu hrají v současné době mezi bioplasty hlavní roli. Jejich podíl na trhu bioplastů dosahuje až 80%. Čistý škrob dokáže absorbovat vlhkost, a proto se ve farmaceutickém průmyslu používá na výrobu lékových kapslí (viz obrázek 4). [17]



Obrázek 4: Lékové kapsle. [11]

Pro použití škrobu jako bioplastu je však potřeba k čistému škrobu přidat speciální aditiva – plastifikátory - například sorbitol nebo glycerin (tyto cukerné alkoholy také nepředstavují pro životní prostředí žádnou zátěž). Získáme tak škrobový termoplast, jehož vlastnosti můžeme ovlivnit množstvím přidaných aditiv. [17]

Druhou možností využití škrobu pro výrobu bioplastu je jeho aplikace s degradovatelnými konvenčními polymery jako jsou polyestery, polyesteramidy, polyesteruretany nebo polyvinylalkoholy. Tyto společné aplikace umožňují vytvořit materiál, který je z jedné strany tvořen hydrofilním škrobem a z druhé strany hydrofobním polymerem. Vznikají tak vodě odolné biodegradovatelné fólie. [17]

Díky regulovatelnosti vlastností připraveného materiálu mohou být pro jednotlivá použití připraveny speciální plasty, které jsou ušity na míru konkrétním výrobkům. Již dnes jsou výrobci ze škrobového bioplastu schopni vyrábět balící fólie, různé tašky a pytle, jogurtové kelímky, nápojové kelímky, nádobí, plastové přístroje atd. [17]

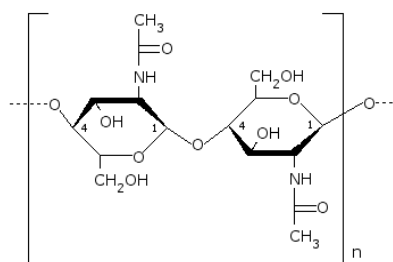
Pro výrobu škrobových bioplastů je možné využít škrob z obilí nebo jiných rostlin, ale pravděpodobně nejčastěji je využíván kukuřičný škrob. Tady ovšem naráží bioplasty na stejný problém jako biopaliva. Protože pochází z rostlin, které lidé už od pradávna využívají ke své obživě, vedlo by jejich masové rozšíření k dramatickému nárůstu cen potravin. [17]

Už dnes můžeme pozorovat vzrůst cen potravin, který je z velké části způsoben zavedením a rozšířením biopaliv. Co teprve až se ke všemu přidají bioplasty. Řada výrobců se proto pokouší vyrábět bioplasty ze surovin, které si s lidskými potravinovými zdroji nekonkurují. [17]

To je však právě u škrobových plastů problém. S řešením přišla nizozemská firma Rodenburg Biopolymers, která vyrábí biopolymer obchodovaný pod komerčním názvem Solanyl. Tento materiál je vyráběn z bramborového odpadu, který vzniká při výrobě krmiv pro hospodářská zvířata. Tato produkce krmiv a bioplastu by mohla být elegantním řešením problému konkurence potravin a bioplastů. [17]

2.1.3 Chitin

Chitin je polysacharid složený z molekul N-acetyl-D-glukosaminu, které jsou 1,4- β -glykosidickou vazbou (viz obrázek 5), a vedle celulózy je nejrozšířenějším polysacharidem na Zemi. Chitin je hlavní složkou kutikuly členovců, která je u některých (např. u hmyzu, krabů, raků apod.) pomocí minerálních látek zpevněna a přeměněna (impregnována) v exoskelet (pevnou vnější kostru). Chitin spolu s beta-polyglukany také tvoří buněčnou stěnu hub (říše *Fungi*). Díky své houževnatosti, tvrdosti a snadné biodegradaci se využívá v některých chirurgických pomůckách.[10]

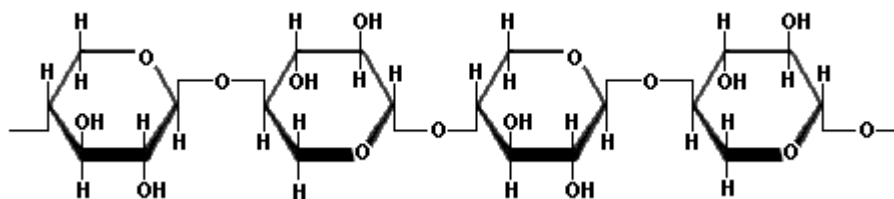


Obrázek 5: Strukturní vzorec chitinu. [10]

Chitin je mikrokrytalická bezbarvá látka, nerozpustná ve vodě, etheru, ethanolu, slabých kyselinách, koncentrovaných a zředěných hydroxidech. Nerozpouští ho ani enzymy savců, rozpouští ho jen koncentrované minerální kyseliny, bezvodná kyselina mravenčí a enzymy některých bakterií a chitináza obsažená ve slimácích. [9]

2.1.4 Xylan

Xylany tzv. Dřevná guma (viz obrázek 6) se nachází v dřevu listnatých stromu. [1].

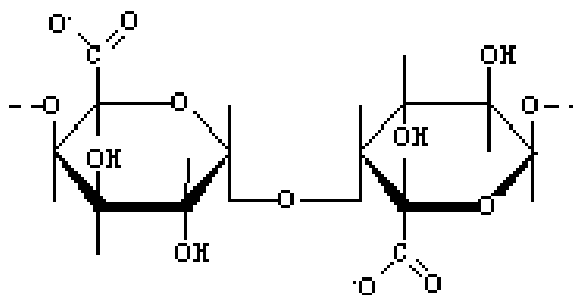


Obrázek 6: Strukturní vzorec xylanu. [13]

Xylany se nachází také v některých druzích zelených řas, a to zejména makrofyt *Siphonous genera* kde nahrazuje celulózu. Xylan se používá jako surovina do krmiv.[12]

2.1.5 Pektinová kyselina

Pektinová kyselina (viz obrázek 7) je známá jako polygalakturonová kyselina se sumárním vzorcem $C_{18}H_{26}O_{19}$. Je nerozpustné ve vodě, průhledné a rosolovité povahy. Vyskytuje se ve zralém ovoci a některých typech zeleniny.[14]



Obrázek 7: Strukturní vzorec pektinové kyseliny. [15]

2.1.6 Inulin

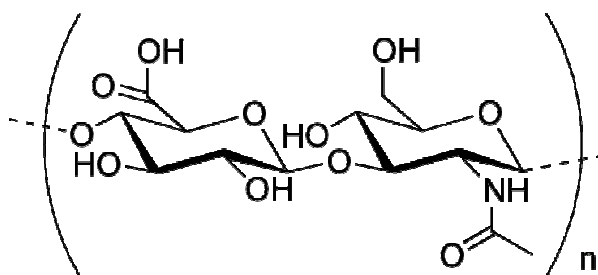
Inulin je polysacharid složen z D-fruktosy. Je obsažen v hlízách jiřin nebo černém kořenu.[1]

2.1.7 Glykogen

Glykogen je zásobní polysacharid živočichů. Je přítomen ve všech buňkách. Nejhojněji se vyskytuje v buňkách kosterního svalstva a v játrech. Je podobný amilopektinu, proti němuž je více větvený, a to na každém osmém až dvanáctém glukosovém zbytku. Tato větvená struktura má mnoho neredukujících konců, odkud lze rychle, v případě metabolické potřeby, získávat glukosu. Glykogen je rozpustný ve vodě. [1]

2.1.8 Hyaluronová kyselina

Tato biologicky důležitá kyselina je obsažena v kloubním mazu a sklivci. Je tvořena D-glukuronovou kyselinou a N-acetyl-D-glukosaminem propojenými $\beta(1\rightarrow3)$ -vazbami (viz obrázek 8). Přítomné karboxylové kyseliny dobře vážou kationy kovů. Molekuly hyaluronátu dávají jeho roztokům zajímavé vysokoelastické chování. V organismech jsou tlumiči nárazu a mazadly. [1]



Obrázek 8: Strukturní vzorec hyaluronové kyseliny. [16]

Má významné biologické funkce jako například:

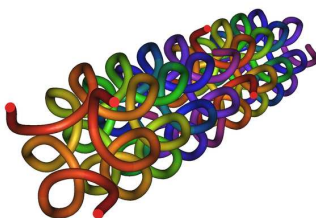
- váže na sebe vodu (pojme přibližně tisícinásobek vody)
- brání prostupu virů a bakterií přes pericelulární matrix k buňce
- brání ukládání kolagenu a tím podporuje bez jizevnaté hojení tkáně
- inhibuje degradaci kloubní chrupavky

Již v 60. letech 20. století se využívala kyselina hyaluronová k lokální léčbě popálenin a kožních vředů. Od roku 1979 je na trhu určená pro použití v oční chirurgii. Chrání jemné oční tkáně, před poškozením během chirurgického výkonu, využívá se i jako náhrada sklivce při operaci šedého zákalu, nebo implantaci čočky. Druhé nejširší využití představuje u pacientů s osteoartrózou. Významné je využití v plastické chirurgii pro vyplň vrásek, vtažených jizev, zvětšení prsou. Kyselina hyaluronová slouží také k výrobě přípravku Hyiodine, který lze následně využít k plastickým operacím, kosmetickým zákrokům, ale i v oblasti chirurgie.[16]

2.1.9 Proteiny

Bílkoviny, odborně proteiny, patří mezi biopolymery. Jedná se o vysokomolekulární přírodní látky s velkou relativní molekulární hmotností 10^3 až 10^6 složené z aminokyselin. Proteiny jsou podstatou všech živých organismů. Jejich základní povahu rozpoznal Braconnot již v roce 1819. [18]

Bílkoviny jsou složeny z aminokyselin. Z 21 aminokyselin může, v případě jednoduchého proteinu složeného ze 100 aminokyselin, vzniknout 20^{100} (tj. asi $1,3 \cdot 10^{130}$) rozdílných primárních proteinových struktur. Z toho vyplývá, že existuje daleko větší množství různých proteinů, než je jich obsaženo ve všech živých organismech na Zemi.[18]



Obrázek 9: Model krystalové struktury trojitě šroubovice kolagenu. [18]

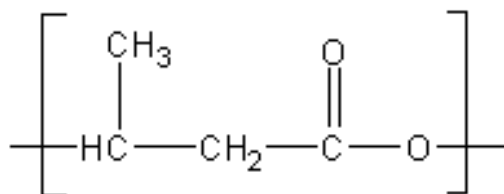
Molekuly proteinů mohou vytvářet protáhlé, vláknité, ve vodě nerozpustné struktury, skleroproteiny (též fibrilární), a kulovité nebo elipsoidní, ve vodě rozpustné sferoproteiny (též globulární). V protikladu ke skleroproteinům, kde patří kolagen (viz obrázek 9), keratin, fibroin, tvořící vlasy, rohovinu, chrupavky, lze skoro u všech sferoproteinů (např. enzymy, svalová tkáň) varem nebo působením kyselin a louhů (změnou hodnoty pH) rozrušit jejich terciární a sekundární strukturu (koagulace, denaturace). Přitom se ztrácejí některé biologické vlastnosti proteinů, např. schopnost enzymů štěpit potravu nebo svalovou kontraktivitu. Tělu cizí proteiny vyvolávají svou přítomností reakci antigen–protilátka, a proto nesmí být nikdy přímo vpraveny do krevního oběhu. [18]

Bílkoviny jsou základem všech známých organismů, a proto v něm plní různé funkce.[18]

- Stavební (kolagen, elastin, keratin)
- Transportní a skladovací (hemoglobin, transferin)
- Zajišťující pohyb (aktin, myosin)
- Katalytické, řídící a regulační (enzymy, hormony, receptory, aj.)
- Ochranné a obranné (imunoglobulin, fibrin, fibrinogen)

2.1.10 Biopolyestery PHB a PHA

Polyestery jsou definované jako polymery, vytvořené kondenzací polyhydričkých alkoholů, jako jsou glykol nebo propylen glykol, a vícesytných kyselin, jako například kyselina maleinová nebo kyselina tereftalátová. Biopolyestery jsou polyestery odvozené z bakteriálních zdrojů a jsou tvořeny hydroalkanovými kyselinami. Nejjednodušším a nejznámějším členem skupiny poly-β-hydroxyalkanové je poly- β-hydroxybutyrát (dále jen PHB viz obrázek 10). [6]



Obrázek 10: PHB, poly- β-hydroxybutyrát. [6]

Jedná se o vnitrobuněčně uložený polymer, jeho funkcí je poskytovat zdroj uhlíku a energie. Tvoří zřetelné granule, pozorovatelné pod elektronovým mikroskopem. Je známo mnoho mikroorganismů ukládajících PHB jako zásobní materiál. Tyto mikroorganismy jsou grampozitivní a gramnegativní kmeny a kyanobakterie. Liší se rychlostí růstu, požadavkem světelného záření a množstvím naakumulovaného PHB. [6]

V následující tabulce 1 je uveden seznam prokaryotních mikroorganismů, které jsou schopny akumulovat PHB. V eukaryotních mikroorganismech PHB nebyl nalezen.

Rod: <i>Actinomycetes</i>	Rod: <i>Methylobacterium</i>
Rod: <i>Alcaligenes</i>	Rod: <i>Micrococcus</i>
Rod: <i>Azospirillum</i>	Rod: <i>Nocardia</i>
Rod: <i>Azotobacter</i>	Rod: <i>Pseudomonas</i>
Rod: <i>Bacillus</i>	Rod: <i>Rhizobium</i>
Rod: <i>Beijerinckia</i>	Rod: <i>Rhodopseudomonas</i>
Rod: <i>Derxia</i>	Rod: <i>Rhodospirillum</i>
Rod: <i>Hyphomicrobium</i>	Rod: <i>Sphaerotilus</i>
Rod: <i>Chloroglea</i>	Rod: <i>Spirillum</i>
Rod: <i>Chromatium</i>	Rod: <i>Streptomyces</i>
Rod: <i>Chromobacterium</i>	Rod: <i>Vibrio</i>
Rod: <i>Lamproaedia</i>	Rod: <i>Zooglea</i>

Tabulka 1: Seznam mikroorganismů, které jsou schopny akumulovat PHB. [6]

Některé bakterie v přírodním prostředí mohou akumulovat PHB a některé i PHA. Bioakumulační schopnost PHB je rozdílná u různých mikroorganismů jak ukazuje následující tabulka 2.

Mikroorganismus bioakumulující PHB	Hmotnostní % PHB v suché buňce
<i>Alcaligenes eutrophus</i>	96
<i>Azospirillum</i>	75
<i>Azotobacter</i>	73
<i>Baggiatoa</i>	57
<i>Leptothrix</i>	67
<i>Methylocystis</i>	70
<i>Pseudomonas</i>	67
<i>Rhizobium</i>	57
<i>Rhodobacter</i>	80

Tabulka 2: Bioakumulační schopnost PHB u různých mikroorganismů. [23]

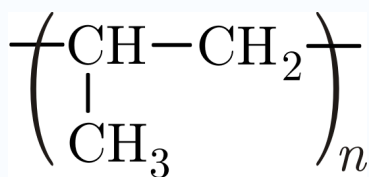
2.1.10.1 Vlastnosti PHB

- Biopolymer PHB je nerozpustný ve vodě a relativně odolný vůči hydrolytické degradaci. To odlišuje PHB od většiny ostatních, v současnosti dostupných, biologicky rozložitelných plastů, které jsou buď rozpustné ve vodě, nebo citlivé na vlhkost.
- Vykazuje dobrou propustnost kyslíku.
- Má dobrý ultra-fialový odpor, ale má špatnou odolnost proti kyselinám a zásadám.
- Je rozpustný v chloroformu a dalších chlorovaných uhlovodících.
- Je biokompatibilní, a proto je vhodný pro aplikace v medicíně.
- Má bod tání 175°C.
- Má pevnost v tahu 40 MPa, která je blízká polypropylenu.
- Klesá ve vodě, zatímco polypropylen plave. Potopení PHB usnadňuje jeho anaerobní biologický rozklad v sedimentech.
- Je netoxický.

Následující tabulka 3 znázorňuje vlastnosti PHB v porovnání s běžně používaným, biologicky nedegradovatelným polymerem polypropylenem (dále jen PP), který má vzorec znázorněný na obrázku 11. [23]

Parameter	(PP)	PHB
Teplota tání [$^{\circ}\text{C}$]	171-186	171-182
Glass Transition Temperature Tg [$^{\circ}\text{C}$]	-15	40456
Crystallinita[%]	65-70	65-80
Hustota [g cm^{-3}]	0.905 - 0.94	1.23 - 1.25
Molární hmotnost $\text{g.mol}(\times 10^{-5})$	39115	40391
Molekulární hmotnostní distribuce	40517	37654
Ohybový modul [GPa]	40360	38110
Pevnost v tahu [MPa]	39	40
Roztáhnutí [%]	400	40396
UVodolnost	zla	dobrá
Odolnost rozpouštědlům	dobrá	zla
Rozpustnost kyslíku [$\text{cm}^3\text{m}^{-2}\text{atm}^{-1}\text{d}^{-1}$]	1700	45
Biodegradabilita	nedegradabilní	dobrá

Tabulka 3: Porovnání vlastností PHB a PP. [23]

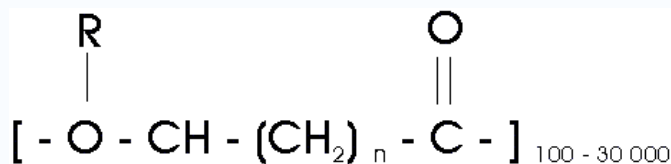


Obrázek 11: Polypropylen. [24]

2.1.11 Polyhydroxylalkanoáty (PHA)

Biopolymer PHA je poly- β -hydroxyalkonát (dále jen PHA, viz obrázek 12), akumulovaný mnohými druhy aerobních a anaerobních bakterií ve formě submikronové inkluze. Bioakumulace PHA může probíhat tehdy, je-li zabezpečený dostatečný přísun uhlíku a omezený přísun živin. [6]

PHA jsou polyestery 3-hydroxykyselin. Na rozdíl od škrobových plastů nebo PLA, které jsou rostlinnými biopolymery, se v případě PHA jedná o polymery mikrobiálního původu. [23]

Obrázek 12: Vzorec poly- β -hydroxyalkonát. [23]

Vedlejší řetězec označený R může mít více skupin, podle kterých se dělí PHA, jak je znázorněno v tabulce 4. [23]

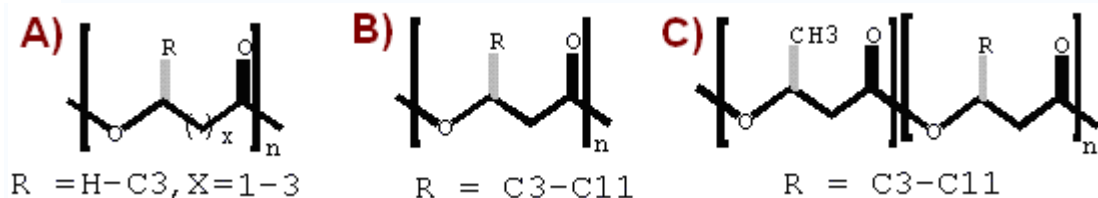
Rozdělení PHA závisí také na počtu n skupin $-(\text{CH}_2)-$ znázorněného ve vzorci PHA na obrázku 12.

n = 1	R = hydrogen	Poly (hydroxy propionate)
	R = methyl	Poly (3-hydroxybutyrate)
	R = ethyl	Poly (3-hydroxyvalerate)
	R = propyl	Poly (3-hydroxyhexanoate)
	R = pentyl	Poly (3-hydroxyoctanoate)
	R = nonyl	Poly (3-hydroxy dodecanoate)
n = 2	R = hydrogen	Poly (4-hydroxybutyrate)
	R = methyl	Poly (4-hydroxyvalerate)
n = 3	R = hydrogen	Poly (5-hydroxyvalerate)
	R = methyl	Poly (5-hydroxyhexanoate)
n = 4	R = hexyl	Poly (6-hydroxydodecanoate)

Tabulka 4: Typy PHA podle vedlejšího řetězce R. [23]

Podle charakteru hlavního monomeru se rozděluje PHA na tyto skupiny:

- A. krátký řetězec (viz Obrázek 13 A)
- B. dlouhý řetězec (viz Obrázek 13 B)
- C. krátký a dlouhý řetězec (viz Obrázek 13 C)



Obrázek 13: Rozdělení PHA podle charakteru hlavního monomeru. [23]

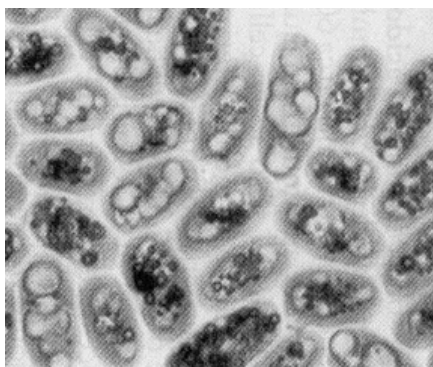
2.1.11.1 Historie PHA a PHB

V roce 1901 se v mikrobiologické literatuře objevily jedny z prvních informací o PHB. Maurice Lemoigne vydal v roce 1925 poměrně podrobnou studii. Zjistil, že se tvoří inkluze podobné granulím v cytoplasmě bakterií, které byly nerozpustné v ethyletheru tak jako lipidy. Pomocí analytických metod a dalšími experimenty došel k závěru, že sledovaná látka je polyester s empirickým vzorcem $(C_4H_6O_2)_n$. Zdůvodnil také, proč mají dvě izolované látky různé teploty tání, bylo to vzhledem k odlišnému stupni polymerizace.

Dalších zhruba třicet let byly inkluze PHB studovány většinou jako akademická kuriozita. V roce 1952 Péaud Lenoëlovi a Kepes zjistili, že obě dvě polyesterové frakce, izolované Mauricem Lemoignem, byly produkty hydrolýzy lineárního polyesteru s poměrně vysokou molekulární hmotností a s teplotou tání okolo $180^\circ C$. Jeden konec nesl karboxylovou skupinu a druhý alkoholovou. Tak Weibull objevil vztah mezi přítomností PHB a vnitrobuněčných granulí lipidů, které byly nalezeny v několika kmenech bakterií. Williamson a Wilkinson zhodnotili dřívější práce zabývající se touto problematikou a jako první uveřejnili data o molární hmotnosti a fyzikálních vlastnostech. Macrae a Wilkinson sledovali, jak může být akumulace PHB zvýšena, pokud omezí přístup dusíku k živné půdě. V tomto pokračovali Merrick a Doudoroff, kteří prozkoumali biosyntézu a procesy enzymatické degradace polymeru v buňce bakterie. Vědci došli k závěru, že bakterie si ukládá PHB jako zásobu energie, tak jako si jiné organismy akumulují škrob a glykogen.

„Později v padesátých letech a v první polovině let šedesátých začali Baptist a Weber v W.R. Grace a spol. v USA produkovat větší množství PHB pro komerční účely. Získali patenty na výrobu a vývoj produktů, jako jsou chirurgické stehy a protetické pomůcky. Jejich vylepšení umožnila využití nerafinovaných produktů kvašení v plastických deskách. Bohužel výnosy PHB z fermentace byly relativně nízké a proces rozpouštění velice drahý. Navíc polymery byly kontaminovány bakteriálními zbytky, které následně způsobovaly potíže při tání. Projekt byl pozastaven a průmysl se přestal o využití PHB zajímat.“ [25]

„V roce 1968 začala organizace ICI v Anglii vyvíjet technologii SCP, jejímž cílem bylo vyrobit bezpečné, ale také vysoce výživné krmivo. SPC krmivo s obchodním názvem *Pruteen* bylo úspěšně vyrobeno, ale cena substrátu pro bakterie byla příliš vysoká, proto se tento projekt nikdy nedočkal komercializace.“ [25]



Obrázek 14: Bakterie *Alcaligenes eutrophus*. [26]

„Díky spolupráci Zemědělského oddělení a Oddělení výroby plastů, především znalostí a zkušeností v procesu kvašení a výroby plastů, byla ICI připravena nabídnout PHB ke komerčnímu využití. Energetická krize v sedmdesátých letech donutila svět hledat nové materiály, které by nahradily syntetické plasty. I když by však výroba PHB byla možná, také díky tomu, že ICI zjistila, za jakých podmínek je bakterie *Alcaligenes eutrophus* (viz obrázek 14) schopna vytvořit až 70% PHB její suché biomasy, vlastnosti PHB se nedaly s polypropylenem srovnat. Největším problémem byla křehkost PHB. Když se ceny ropy stabilizovaly, nebyl již důvod dále investovat do nákladnější výroby PHB.“ [25]

„Vědci se snažili snížit křehkost materiálu tím, že vytvořili kopolymer HB a HV. V osmdesátých letech tak vznikl v ICI PHBV, známý též jako Biopol. Tento

materiál měl mnohem lepší vlastnosti než původní PHB, především byl mnohem méně křehký. Zájem o plasty vytvořené pomocí bakterií byl vysoký také pro jejich snadnou biodegradaci. V roce 1990 byl v Německu vytvořen první komerční produkt z Biopolu. Byl to biodegradabilní obal na šampón Wella (viz obrázek 15).“ [25]



Obrázek 15: bBiodegradabilní obal na šampón Wella. [27]

V centru pozornosti jsou biopolymery typu PHA a PHB od 70. let, kdy se britská firma ICI rozhodla produkovat tyto materiály pod obchodním názvem Biopol. [23]

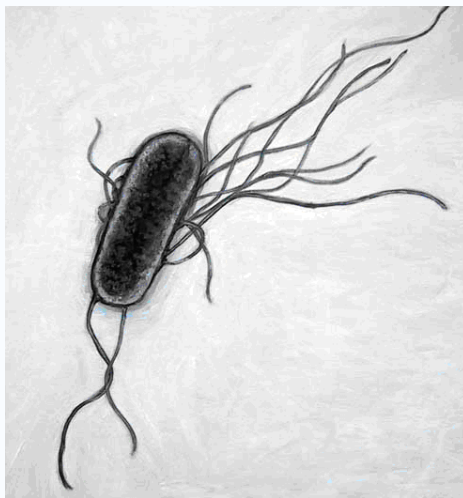
Původně měly PHA zcela nahradit konvenční plasty, ale k tomu nikdy nedošlo. Výrobcům Biopolu se nepodařilo stlačit cenu na úroveň konvenčních plastů a Biopol tedy nemohl ropným produktům konkurovat. Proto našel své sporadické uplatnění především jako biodegradabilní a biokompatibilní materiál.

Od firmy ICI v roce 1996 odkoupila ochrannou známku Biopol biotechnologická firma Monsanto. Ta se pokusila nahradit nepřiliš výnosnou fermentační výrobu, transgenními rostlinami.

V centru zájmu byla sója a především řepka olejná. Idea byla taková, že po odlisování oleje by byl z pevných výlisků vyextrahován rozpouštědly plast tvořený PHA a zbylá rostlinná hmota měla být použita jako krmivo pro hospodářská zvířata.

V roce 1999 ovšem od Monsanto odkoupila ochrannou známku pro Biopol americká firma Metabolix. Ta se specializuje právě na výroby bioplastů na bázi PHA. Využívá jak mikrobiální fermentační výrobu (pracuje s geneticky upravenou

bakterií *Escherichia coli* (viz obrázek 16), která vykazuje vysokou produktivitu), tak transgenní rostliny. [23]



Obrázek 16: Geneticky upravená bakterií *Escherichia coli*. [28]

Na rozdíl od firmy Monsanto si však firma Metabolix jako cílové rostliny genetických manipulací vybrala rostliny, které nejsou zapojeny do lidského potravinového řetězce. V centru zájmu je nyní rákosovitá travina switchgrass, která vykazuje obrovské hektarové výtěžky (v Kanadě až 64,8 t/ha). Firma Metabolix obdržela na tento projekt v roce 2001 od vlády USA grant ve výši 15 miliónů dolarů. Výsledkem spolupráce firmy s vládou by měla být technologie, která poskytne plast, po jehož extrakci se zbylá biomasa použije k výrobě biopaliva. [23]

2.1.11.2 Izolace PHB a PHA

Biopolymer PHB nakumulované v buňce bakterie se musí vyizolovat tak, aby nedošlo k depolymerizaci. Proces je nutno provádět opatrně i přesto, že se musí narušit buněčné stěny. [19]

Na základě mnoha výzkumů bylo otestováno mnoho metod jak získat čisté PHB. Některé metody jsou výhodnější a jiné méně výhodné.

2.1.11.2.1 Extrakce pomocí rozpouštění

Tato metoda patří mezi nejstarší. Muže se provádět dvěma způsoby. Modifikací permeability a následné rozpouštění PHA v některém z organických rozpouštědel. Těmito rozpouštědly může být trichlormethan, 1,2 – dichlorethan, 1,1,2 – trichlorethan, dichlormethan, nebo také uhličitán propylný. Následuje

filtrace sloužící k odstranění zbytku bakteriální buňky. Roztok, ve kterém je obsažen PHA se vysráží pomalým ochlazením. Také se může přidat methanol, diethyl ether nebo hexan. Po vysrážení se provádí rekrystalizace. [19]

Čistota PHA je poměrně vysoká. Například extrakcí PHA z bakteriální buňky *R. eutropha* pomocí organického rozpouštědla ethylen chloridu je možné získat PHB o čistotě 98%. Proces je ovšem velice nákladný, protože vyžaduje značné množství rozpouštědel a dalších chemických látek. Poměr získané hmoty a rozpouštědla je 20:1. Jeden z dalších problémů je toxicita rozpouštědel. Extrakce pomocí rozpouštědel je neekologická a nebezpečná pro osoby, které s nimi pracují. Kromě toho chemické rozpouštědlo ničí původní strukturu a stavbu PHB granulí. Z tohoto důvodu se hodí spíše pouze pro výrobu odolných vláken. Z druhé strany je extrakce rozpouštědly jako jedna z mála, která nedegraduje polymer a může být využita v lékařském průmyslu zvláště díky tomu, že může eliminovat Endotoxiny, které se vyskytují v gramnegativních bakteriích. [19]

2.1.11.2.2 Chemické loužení

Existuje sedm druhů chemického vyluhování pomocí:

- tenzidů
- chlornanu sodného
- chlornanu sodného a dichlormethanu,
- tenzidů a chlornanového loužení
- tenzidů a chelátového loužení
- zpracování pomocí chelátu a peroxidu vodíku
- pomocí selektivního rozpouštění buněčné hmoty (bez obsahu PHA) protony

„V prvním případě tenzidy rozruší buňky zařazením sama sebe do dvouvrstvé lipidové membrány. Čím více přidáme tenzidů, tím více jich pronikne do membrány, zvětší svůj objem v buněčném obalu, dokud jej úplně nenasytí. Přidáním dalších tenzidů dojde k prolomení membrány a produkci tenzidových micel a membránových fosfolipidů, což vede k rozpuštění PHB do roztoku obklopeném zbytky buňky. Výhodou této metody je, že při ní nedochází k degradaci polymeru. Nevýhodou naopak je, že musíme použít vysoké dávky tenzidů a to se projevuje na zvýšení ceny PHB. Navíc tenzidy způsobují nemalé

problémy s následným čištěním odpadních vod a jejich znovu využitím. Další funkcí tenzidů je rozpouštění nejenom proteinů, ale i jiných buněčných materiálů.“ [25]

Loužení pomocí chlornanu draselného je další způsob získání PHA z buňky. Touto metodou lze dosáhnout vysoké čistoty materiálu. U bakterie *R. eutropha* je to 86%, u rekombinantní *E. coli* 93%. Bohužel loužení chlornanem sodným způsobuje několik procesů degradace PHB, což se následně projevuje ve ztrátě až 50% molární hmotnosti. Přírodní amorfni granule PHA jsou velice citlivé na zmýdelnění v zásaditém prostředí a rychle se rozkládají na monomery a oligomery. Toto chování PHA granulí bylo vypořádováno u bakterie *R. eutropha*. Naproti tomu u granulí PHA v bakterii rekombinantní *E. coli* se molární hmotnost téměř nezměnila. Tato odolnost vůči použití chlornanu sodného se přisuzuje krystalické struktuře PHA v buňce *E. coli*. Popravdě většina PHA vytvořená v *R. eutropha* má proměnlivou amorfni stavbu. Použitím tepelného předzpracování můžeme do značné míry ovlivnit rozkladný proces. Příkladem může být tepelná předúprava a následné loužení v roztoku chlornanu sodného při 50°C u bakterie *Cupriavidus taiwanensis* 184, kde se podařilo získat až 99% čistého materiálu. V tomto případě záleží na molární hmotnosti, množství chlornanu sodného a teplotě, při které k loužení dochází. [25]

„Loužení pomocí chlornanu sodného a chloroformu spojuje výhody obou rozlišných druhů digescí. Touto metodou se podařilo získat tři oddělené fáze. Prostřední fáze, která akumulovala buněčný materiál (bez obsahu PHA) a rozpadlé buňky, a fáze, kdy dichlormethan obsahuje P (3HB). Použitím této metody bylo možno dosáhnout znatelného snížení degradace polymeru během procesu. Bylo naznačeno, že dichlormethan okamžitě rozpustí PHB uvolněný během procesu úpravy chlornanem. Tímto způsobem chrání polymer před degradací.“ [25]

„Výhodou metody tenzidů – chlornanového loužení jsou především nízké provozní náklady, vysoká čistota získaného materiálu a omezení degradace PHA.“ [25]

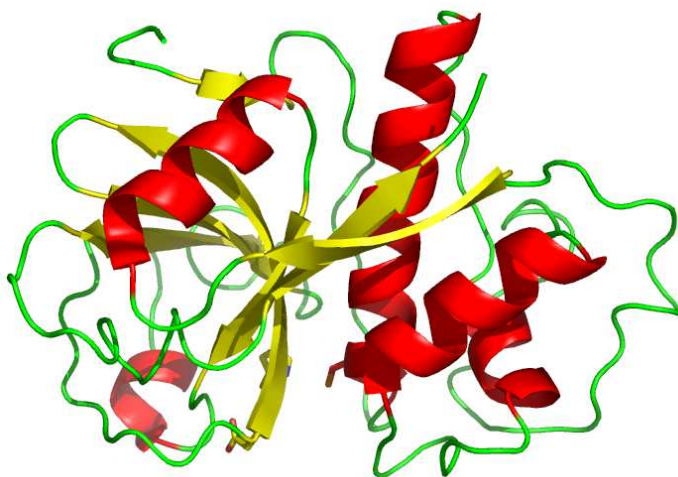
„Dalším způsobem jak izolovat PHA je použití tenzidů – chelátového loužení. Přidáním chelátu to tenzidů dojde lepšímu uvolňování PHA. Chelát v tenzidu je schopen destabilizovat vnější membránu formováním komplexů

s bivalentními kationy. Změny ve vnější membráně způsobují oslabení také ve vnitřní membráně. Všechny tyto děje vedou ke snazšímu roztržení buněk bakterie (např. *R. eutropha*) a tudíž i k větší čistotě získané PHB. I když lze díky této metodě získat velice čistý produkt s nízkým zatížením životního prostředí, nelze mu upřít jednu velkou nevýhodu, kterou je produkce obrovského množství odpadních vod. Avšak i v dnešní době stále probíhají pokusy jak znovu využít tyto odpadní vody.“ [25]

Selektivní rozpouštění buněčné hmoty (bez obsahu PHA) protony je relativně nová metoda. Tato metoda je založena na selektivním rozpouštění buněčné hmoty (bez obsahu PHA) protony ve vodném roztoku a následné krystalizaci biopolymeru PHA. Po této úpravě probíhá odbarvení v bělicím roztoku. [25]

2.1.11.2.3 Enzymatické loužení

„Tato metoda byla vytvořena jako alternativa k rozpouštěcí extrakci. Různé druhy enzymů, jako jsou proteolytické enzymy, jsou schopny velice účinně rozpouštět proteiny, ale mají pouze malý efekt na degradaci PHA. Typické zpracování PHA, jež obsahuje buněčný kal, začíná tepelnou úpravou, poté následuje enzymatická hydrolýza, tenzidová úprava a na konec odbarvení peroxidem vodíku. I když použití enzymů vede k velice dobrým výsledkům, co se týče znovuzískání PHB, jejich vysoká cena je hlavní nevýhodou. Ke snížení ceny enzymů se vědci snaží využívat různé alternativy. Například enzym bromelain, využívaný k extrakci PHB, je třikrát dražší než pankreatin. Dalším způsobem jak snížit cenu je využívání kombinovaných metod jako je využití enzymu Papinu (viz obrázek 17), ve spolupráci s chlornanem sodným.“ [25]



Obrázek 17: Enzym papain. [29]

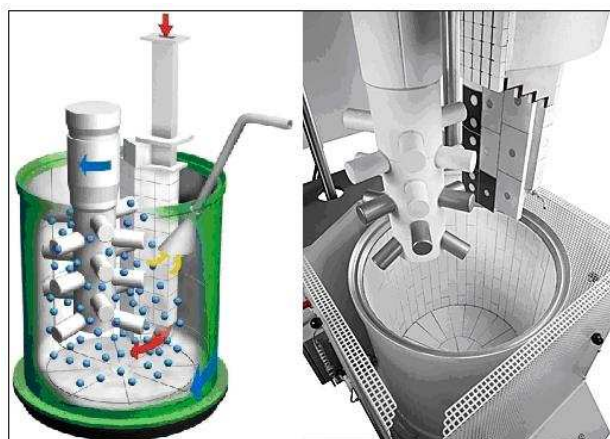
Čistota takto získaného PHB je 89% a z buňky je možno znovuzískat až 78% tohoto materiálu. Nejnovější kombinovaná metoda je využití enzymu alkalázy, SDS (dodecylsírán sodný) a EDTA (kyselina ethylendiamintetraoctovou). Alkaláza se podílí na extrakci PHA z kultury bakterie *P. putidia* 71,5%. Poté jsou granule PHA získány ve vodní suspenzi odstraněním rozpuštěného buněčného materiálu, který PHA neobsahoval, pomocí průtokového ultrafiltračního systému a čištění v plynulém diafiltračním procesu. Konečná čistota PHA získaného z vodní suspenze je kolem 92% a výnos ze zpracovávané hmoty 90%.

2.1.11.2.4 Mechanický rozpad (disrupce)

„Mechanický buněčný rozpad je široce využíván ke zpětnému získání intracelulárních proteinů. V odborné literatuře byly popsány dva způsoby, jak mechanickým rozpadem získat PHA.“ [25]

2.1.11.2.5 Rozpad využitím kuličkového mlýnu

Kuličkový mlýn (viz obrázek 18) se skládá z vertikální válcové mlecí komory, která má soustředný válec s rotorem, jež se pohybuje nepravidelně sem a tam. Buněčný kal vstupuje do mlýna jeho spodní části, stoupá vzhůru prstencovou mezerou, která je mezi rotorem a statorem, a vystupuje u vrcholu. Při tomto procesu dochází k zahřívání, proto se mlýn chladí pomocí cirkulující studené vody v plášti, který obklopuje mlecí komoru. Tento druh disrupce funguje nezávisle na koncentraci biomasy. Průměr mlecích kuliček nemá vliv na míru rozpadu.



Obrázek 18: Kuličkový mlýn *Eirich*, typ *MaxxMill*. [30]

2.1.11.2.6 Vysoko tlaková homogenizace

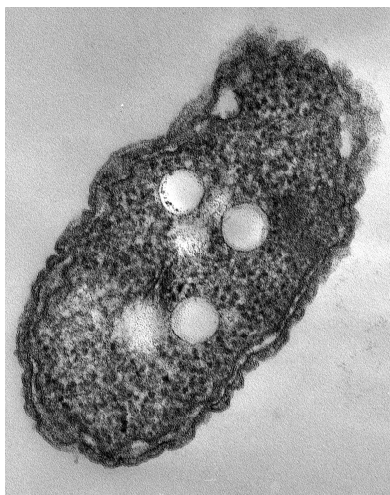
„Jedná se o jednu z nejznámějších metod. Zařízení se skládá ze vzduchem hnaného spolehlivého objemového čerpadla, které žene buněčný rmut skrz dva souběžné otvory pod vysokým tlakem. Proud tekutiny narazí na vertikální desku, odrazí se a znovu se promíchá a následně je vytlačena ven. Rozpad do velké míry závisí na okolní teplotě, která je udržována během procesu ponořením dirupční komory a koncových potrubí do ledu. Výkon homogenizéru závisí na koncentraci biomasy. V porovnání s mlýnem, je výkon homogenizéru slabý, i když ve vyšších koncentracích je poněkud výhodnější. Ovšem homogenizér se často ucpává, což stěžuje proces.“ [25]

2.1.11.2.7 Superkritická kapalina

„Superkritické kapaliny mají unikátní fyzikálně chemické vlastnosti, jako je vysoká hustota a nízká viskozita, díky tomu jsou vhodné jako extrakční rozpouštědla. Pro tento účel se nejvíce využívá CO_2 , protože není příliš toxický a reaktivní, je dostupný, nehořlavý a je levný.“ [25]

2.1.11.2.8 Využití křehkosti buňky

Některé bakterie jako je *Azotobacter vinelandii* (viz obrázek 19) a rekombinantní *E. coli* jsou po akumulaci velkého množství PHA poměrně křehké. Na základě jejich křehkosti se využívá jednoduchých chemických postupů extrakce k získání PHA z bakterie. Příkladem je postup získání vysokomolekulárního P (3HB) z bakterie *Azotobacter vinelandii*. [25]



Obrázek 19: Bakterie *Azotobacter vinelandii*. [31]

Konečný produkt obsahoval 94% P (3HB), 2% proteinu a 4% neproteinové residuální hmoty. Molární hmotnost přitom nebyla nijak významně ovlivněna. [25]

„U rekombinantní *E. coli* bylo naznačeno, že izolace užitím této metody může být také jednoduchá. Tento rekombinantní druh bakterie byl vytvořen k akumulaci vysokých množství P (3HB) na množství suché hmoty. Tyto klony byly dále zvětšeny přidáním geneticky zprostředkovaného lyzálního systému nazývaného bakteriofágová lýza, která dovolí jemně a efektivně odstranit granule P (3HB).“ [25]

2.1.11.2.9 Třídění vzduchem

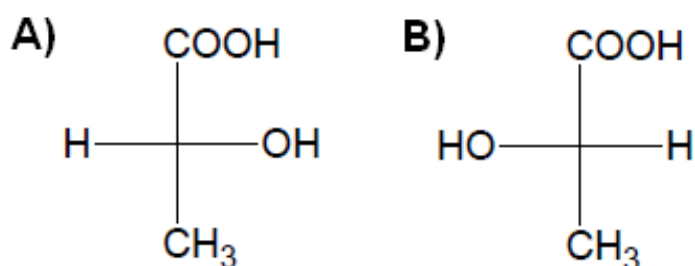
„Tato metoda byla vytvořena k získání P (3HB) z bakterie *Alcaligenes eutrophus*. Nejprve jsou buňky upraveny pomocí ultrazvuku k vytvoření suspenze polymerních granulí. Posléze je suspenze usušena mrazem a rozdrčena využitím mlýnu. Pomletý vzorek je potom roztříděn pomocí vzduchu na jemnou a hrubou frakci. Jemná frakce je následně podrobena extrakci pomocí dichlormethanu. Následuje srážení methanolem, výsledná čistota P (3HB) je 95% a výše. Výnos se pohybuje kolem 85%.“ [25]

2.2 Syntetické biopolymery

Syntetické biopolymery jsou biologicky degradovatelné polymery připravené z přírodních materiálů, nebo syntetických sloučenin. Mohou to být také klasické polymery s přidavkem aditiv, nebo přírodních polymerů, které urychlují jejich rozložení v přírodě.

2.2.1 Polymery kyseliny mléčné (Polyacid – PLA)

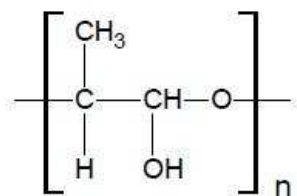
Polymer mléčné kyseliny (viz obrázek 20) je díky svým mechanickým vlastnostem velice zajímavým plastem, u kterého lze pravděpodobně v brzké době očekávat masové využití. Vstupní surovinou pro výrobu PLA jsou rostliny produkující škrob, nejčastěji je to kukuřice. Škrob se z rostlin vyextrahuje a rozštěpí se na své stavební jednotky – molekuly glukózy. Glukóza je pak bakteriemi mléčného kvašení fermentativně převedena na kyselinu mléčnou. Následuje chemická polymerace kyseliny mléčné za vzniku požadovaného polymeru. [32]



Obrázek 20: Fischerovy vzorce a) D-(+)-mléčná kyselina, L-(-)-mléčná kyselina. [33]

Polyactid (dále jen PLA, viz obrázek 21) je termoplastický polymer, který se dá připravit jako částečně krystalický, tak také jako čistý amorfní. Základní látkou je kyselina mléčná, která vykazuje optickou aktivitu. Z toho vyplývá, že polymer se může nacházet ve třech stavech. Tyto stavy se často označují jako: [33]

- L-PLA – syntetizován z L-kyseliny mléčné nebo z L-Laktidu
- D-PLA - syntetizován z D-kyseliny mléčné nebo z D-Laktidu
- DL-PLA - syntetizován z DL-kyseliny mléčné nebo z meso-Laktidu



Obrázek 21: Vzorec polymeru kyseliny mléčné, Polyactid, PLA. [33]

2.2.1.1 Výroba PLA

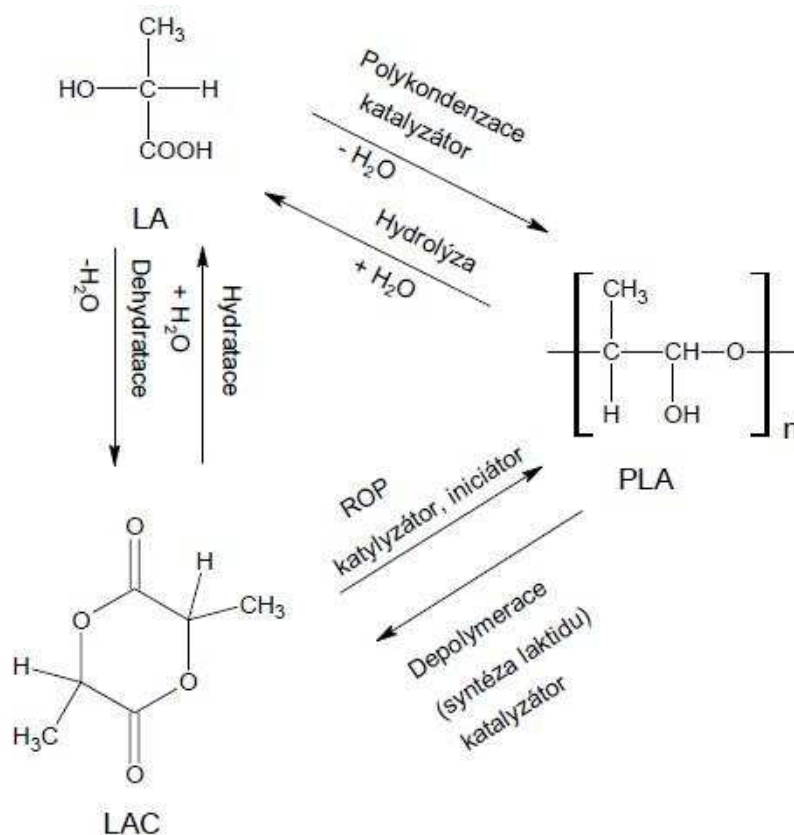
Výroba PLA může uskutečněna dvěma metodami (viz obrázek 22). První možností je přímá polykondenzace kyseliny mléčné a druhá Ring-Opening

Polymerization (dále jen ROP) – tedy otvíráním laktidového cyklu a následná polymerace. [33]

Přímá polykondenzace

Přímá polykondenzace je finančně méně nákladná než ROP, avšak má jednu zásadní nevýhodu. Je velmi obtížné dosáhnout dostatečně vysoké molekulové hmotnosti. Příčinou je především problematické oddestilovávání vody vznikající coby vedlejší produkt polykondenzace. Touto metodou lze připravit i PLA s relativně vysokou molekulovou hmotností, to však vyžaduje podmínky zahrnující: [33]

- Vysoké teploty (180-200 °C).
- Nízký tlak (< 5mm Hg sloupce).
- Dlouhý reakční čas.
- Vhodný katalyzátor.
- Azeotropické rozpouštědlo usnadňující destilaci vznikající vody.



Obrázek 22: Možnosti výroby PLA. [33]

Přímou polykondenzací vzniklý polymer dosahuje molekulární hmotnosti $M_w < 1,6 \cdot 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Při použití difenyletheru coby rozpouštědla a katalyzátoru na bázi cínu bylo dosaženo poměrně vysoké molekulové hmotnosti $M_w \sim 1,105 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. [33]

Přímá polykondenzace sebou nese i jiné nevýhody jako to, že dlouhá doba polymerace a vysoká teplota snižuje optickou čistotu polymeru a to i v případě použití vysoce čistých monomerů. Optickou čistotou rozumíme zastoupení L a D stereoisomerů, které zásadně ovlivňují vlastnosti vzniklého polymeru. Dalším problémem je nutnost odstraňování rozpouštědla a jeho recyklace. Metodu přímé polykondenzace a azeotropické destilace využívá japonská firma Mitsui Toatsu Chemical a produkt prodává pod názvem LACEA. [33]

Ring-Opening Polymerization (ROP)

ROP vychází z laktidu (D,L,DL) jako monomeru, přičemž dochází k otvírání laktidového cyklu a následné polymeraci. Celý postup je založen na dvou krocích:

1) Příprava samotného laktidu

Vodný roztok kyseliny mléčné se přímou polykondenzací převádí na nízkomolekulární PLA ($M_n \sim 5000 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$) bez použití rozpouštědla při $T < 180 \text{ }^\circ\text{C}$. Takto připravený prepolymer se termicky depolymerizuje zvýšením teploty ($200\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$), snížením tlaku ($4\text{--}5 \text{ mm Hg}$ slo upce) a přidavku katalyzátoru. Tím bývá nejčastěji stannum bis(2-ethylhexanoát)], ale lze použít i jiné látky jako sloučeniny zinku, hliníku, zirkonia, titanu aj. Takto řízenou depolymerizací vzniká vlivem intarmolekulární transesterifikací laktos (viz obrázek 23). [33]



Obrázek 23: Stereoisomery laktidu. [33]

Laktid se stejně jako kyselina mléčná vyskytuje ve 3 enantiomerech. L-Laktid, D-Laktid a meso-laktid (ten není opticky aktivní). O tom jaký enantiomer bude ve vzniklé směsi převládat, rozhoduje jak forma prepolymery, tak teplota a doba polykondenzace a hlavně použitý katalyzátor. Častěji žadáním a získávaným je však L-Laktid. Vznikající laktid se čistí od zbytků kyseliny, oligomerů a dalších nečistot vakuovou destilací a ve druhém kroku polymerizuje za vzniku vysokomolekulárního PLA. [33]

2) Polymerace

Samotná ROP probíhá zpravidla v tavenině, i když roztoková, suspenzní a emulzní polymerace je také možná. Reakční mechanismus může být kationtový, aniontový nebo koordinační.

Podmínky ROP: [33]

- 1) nízká koncentrace iniciátoru (100 - 1000 ppm)
- 2) teplota <180 °C
- 3) dlouhá doba polymerace (2 - 5 hodin)
- 4) katalyzátor

Jako iniciátor se často přidávají látky s hydroxy skupinou pro kontrolu molekulové hmotnosti a akceleraci reakce. Nejčastěji organické alkoholy (například oktan-1-ol). Doba reakce pro dosažení konverze 95% je mezi 2 - 5 hodinami, poté se nezreagovaný monomer vrací zpět do procesu. Teplota se liší v závislosti na tom, jestli polymerujeme L-Laktid nebo DL-Laktid. Pro polymeraci L-Laktidu jsou běžné teploty mezi 105 - 180 °C, pro DL-laktid pak mezi 135 - 155 °C. [33]

Katalyzátorů pro ROP laktidu je celá řada. Lze použít komplexy hliníku, zinku, cínu nebo lanthanoidů. Efektivní jsou také alkoxidy kovů jako sodík, lithium a draslík, avšak vysoká bazicita těchto katalyzátorů může vést k epimerizaci chirálního centra v řetězci. Naproti tomu kovalentní metal-alkoxidy jsou více selektivní a více užívané. Nejpoužívanějším katalyzátorem je stannum-[bis(2-ethylhexanoát)]. Typická koncentrace katalyzátoru je mezi 100 - 1000 ppm. [33]

2.2.1.2 Vlastnosti PLA

Vlastnosti PLA jsou velice zajímavé hned z několika hledisek:

- Jsou vyrobitelné z obnovitelných zdrojů.
- Mají mechanické vlastnosti blízké polyolefinům.
- Jsou rozložitelné jak v lidském těle, tak v přírodě.
- Toxicita po rozložení není žádná, či jen nepatrná.
- Pro zpracování není potřeba konstruovat nové zařízení, lze použít současné.

Tepelné vlastnosti

PLA je tuhý při pokojové teplotě. Teplota tání je mezi 160 – 170 °C. Vlastnosti se dají modifikovat poměrem L a D isomerů. Těmito modifikacemi bylo dosaženo nízkých teplot tání kolo 130°C a dokonce i mnohem vyšších až kolem 220°C. [33]

Fyzikální vlastnosti

Specifická hustota PLA je ($\sim 1,25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) je nižší než hustota PET ($1,34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), ale větší než HIPS – houževnatý polystyrén ($1,05 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a zároveň je vyšší než hustota většiny běžných polymerů dosud používaných. Hustoty těchto polymerů se pohybují mezi $0,8 - 1,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. PLA je poměrně vysoce transparentní. Je jen o něco málo transparentnější než PET-A, zato více transparentní než například PP, SBS nebo OPS – orientovaný polystyrén. Snížený stupeň krystalinity zvyšuje optické vlastnosti, kdežto vysoký stupeň krystalinity zvyšuje zákal a optické vlastnosti jsou horší. Některé vlastnosti popisuje tabulka 5. Avšak vlastnosti se mohou mírně lišit podle postupu výroby, obsahu nečistot, katalyzátoru, molekulovou hmotností a orientaci molekul. [33]

Veličina	L-PLA	DL-PLA
Krystalinita - X_c [%]	35	A
Teplota tání - T_m [°C]	175	A
Skelný přechod - T_g [°C]	65	57
Hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	1.2-1.3	1.2-1.3
Pevnost v tahu [MPa]	$\sim 70-100$	35
Modul pružnosti [GPa]	3,50	1,70

Tabulka 5: Fyzikální vlastnosti L-PLA a DL-PLA. [33]

Mechanické vlastnosti

Při porovnání mechanických vlastností s ostatním termoplastickými polymery můžeme dojít k závěru, že PLA je má výrazně lepší. Toto porovnání ukazuje tabulka 6. Důležité mechanické vlastnosti pro aplikaci PLA jako materiálu pro nápojové láhve jsou tvrdost, rázová pevnost, tuhost a pružnost.

Polymer	Modul pružnosti v tahu [Mpa]	Rázová pevnost [J/m]	Modul pružnosti v ohybu [Mpa]	Prodloužení při přetržení [%]
PLA	3834	24,6	3689	4
Polystyren	3400	27,8	3303	2
iPP	1400	80,1	1503	400
HDPE	1000	128,2	800	600

Tabulka 6: Porovnání mechanických vlastností PLA a jiných polymeru. [33]

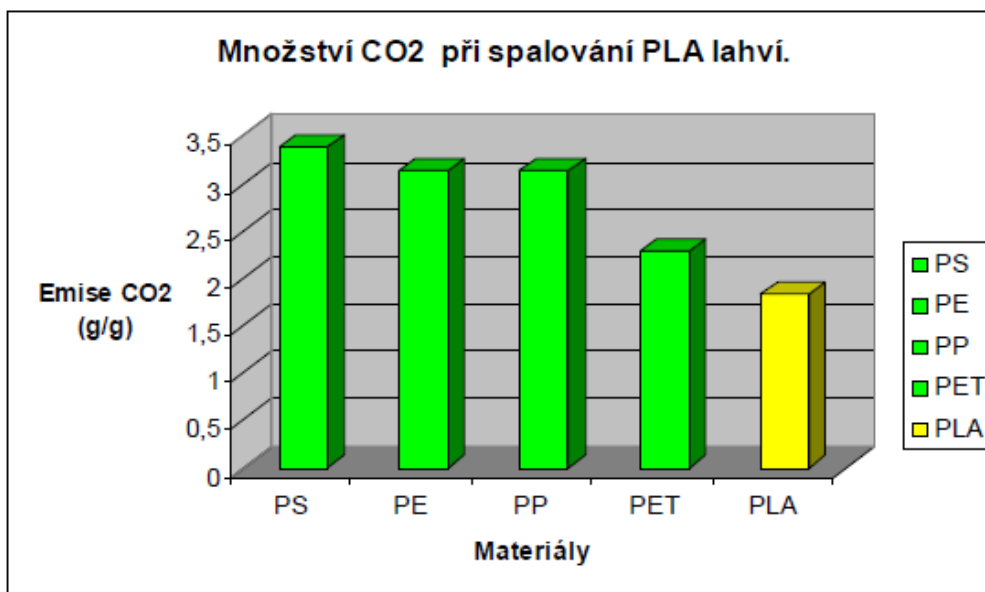
Další vlastnosti

Je nerozpustný v cyklohexan, ethanol nebo methanol, velmi dobře rozpustný v chloroformu, dichlormetanu a benzenu. Ve vodě nerozpustný, ale při styku s vodou však dochází k jeho hydrolýze na ve vodě rozpustné oligomery a monomery kyseliny mléčné. [33]

Je nehořlavý, má poměrně dobrou samozhášecí schopnost s porovnáním s PET. [33]

Má velmi dobrou snášenlivost v lidském těle. Lidské tělo po čase PLA resorbuje, aniž by tento proces pro něj představoval nadměrný stres. [33]

Další zajímavou vlastností je množství uvolněného CO₂ při spalování PLA láhví s porovnáním dalšími plasty (viz obrázek 24) jako polystyren (PS), polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyethylterefthalát (PET).



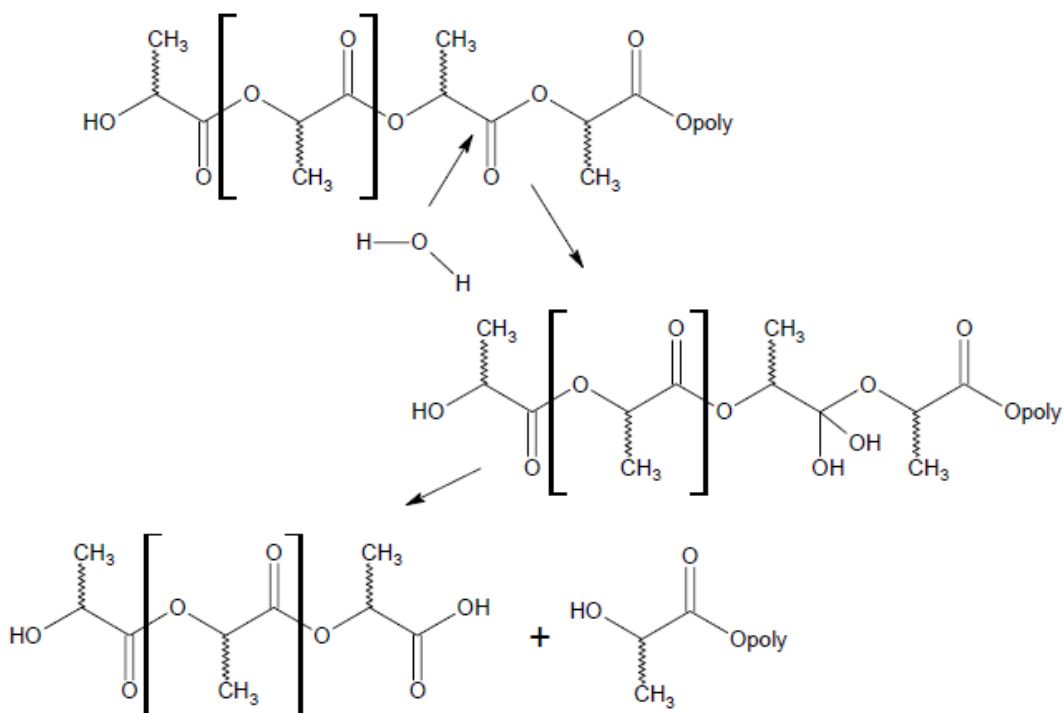
Obrázek 24: Množství emisí oxidu uhličitého u různých plastů. [38]

Emise CO₂ vznikající při spalování jsou u PLA podstatně menší než u běžných plastů. U PLA lahví je CO₂ absorbováno už když dané rostliny rostou, proto láhve PLA přispívají ke snižování emisí CO₂, které jsou hlavní příčinou globálního oteplování. [38]

2.2.1.3 Biodegradace PLA

Biodegradaci máme na mysli schopnost rozkládat se v prostředí bohatém na vlhkost a mikroorganismy na látky jako vodu, CO₂ a další produkty označované jako biomasa. Biodegradace PLA probíhá ve dvou krocích: [33].

- 1) Nejprve vlivem vlhkosti hydrolyzují esterové vazby v hlavním řetězci polymeru, (viz obrázek 25). Tím dochází ke snížení molekulové hmotnosti.
- 2) Vzniklé produkty jsou rozpustné ve vodě a mohou proniknout přes buněčnou stěnu do buněk mikroorganismů, kde jsou jejich přirozenou metabolickou cestou přeměněny především na vodu, CO₂ a další látky.



Obrázek 25: Hydrolýza řetězce PLA a jeho ztráta molekulové hmotnosti. [33]

Degradace PLA významně závisí na několika faktorech, jejichž změnou se dá výrazně ovlivnit. Jsou to zejména velikost a tvar výrobku, teplota, vlhkost, krystalinita polymeru (tedy zastoupení L a D isomerů) a délkou řetězců. Produkty biodegradace samotného PLA jsou pro životní prostředí zcela neškodné. [33]

Použité výrobky z PLA jsou lehce degradovatelné jak samostatně v přírodě, tak v kompostech případně na skládkách. Při jejich řízeném třídění by se mohly využít k opětné recyklaci. Výhodou je že nezatěžují životní prostředí, neobsahují aditiva, které jim propůjčují nebezpečné vlastnosti, jako je například toxicita. To však závisí na zvoleném technologickém postupu výroby PLA.

2.2.1.4 Výhody výrobků z PLA

Velkou výhodou PLA je jeho průhlednost. Tato vlastnost je spotřebiteli především u potravinových obalů velmi žádána, protože poskytuje pocit transparentnosti. Proto se již dnes vyrábí PLA láhve (viz obrázek 26), a je pravděpodobné, že v blízké době začnou PLA láhve částečně nahrazovat těžko odbouratelné PET lahve, které tvoří velkou část pevného odpadu. [32]



Obrázek 26: Láhve vyrobené z PLA (upraveno dle [34][35][36]).

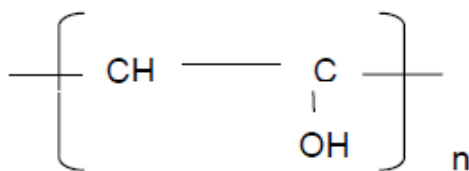
PLA nalézá uplatnění ve formě obalových materiálů na potraviny, nebo jiné výrobky s krátkou dobou životnosti. Můžeme se tedy s nimi setkat ve formě kelímků na pití nebo na jogurty, ale také průhledných obalových fólií, misek na ovoce, zeleninu nebo maso (viz obrázek 27). [32]



Obrázek 27: Obalové folie na potraviny vyrobené z PLA. [32]

2.2.2 Polyvinylalkohol PVA

Polyvinylalkohol (dále jen PVA, viz Obrázek 28) je jeden z mála syntetických polymerů, který se pomalu, ale téměř dokonale rozkládá. Proto jej lze zařadit mezi syntetické biopolymery. V suchém stavu je sice odolný vůči plísním i bakteriím, ale jeho vodné roztoky již podléhají mikrobiální degradaci. Byly zjištěny rody bakterií *Acinetobacter*, *Pseudomonas* a *Flavobacterium*, které biodegradují PVA. Na základě manometrického sledování se uvádí, že bakterie *Pseudomonas sp.* a *Arthrobacter sp.* napadají pouze acetátové skupiny přítomné v proměnlivém množství v PVA. [37]



Obrázek 28: Vzorec polyvinilalkoholu, PVA. [37]

Bylo zjištěno, že modifikace PVA s přírodními biopolymery urychluje biodegradaci. Při modifikaci PVA škrobem se potvrdil vyšší stupeň biorozkladu. Mechanické vlastnosti modifikovaného PVA (pevnost v tahu, prodloužení při přetrhnutí) se ovšem dosti markantně snížily. S použitým gellanem a xanthanem jako modifikátorů s plastifikací glycerolem bylo dosaženo velmi podobných výsledků ve srovnání s použitým škrobem. I v tomto případě se jedná o biopolymery – polysacharidy, rozdílné pouze ve své chemické struktuře. Také v případě gellanu a xanthanu se růst jejich obsahu ve směsi s PVA projevil ve zvýšení stupně jejich biologického rozkladu. [37]

2.2.2.1 Vlastnosti PVA

Polyvinylalkohol je rozpustný ve vodě, formaldehydu, kyselině octové a mravenčí. Jeho odolnost vůči rozpouštědlům závisí na obsahu nezhydrolyzovaného polyvinylacetátu, střední molekulové hmotnosti a na teplotě. Polymer s více než pětiprocentním obsahem vinylacetátových jednotek se rozpouští ve vodě jen při teplotě nad 65°C. Čím větší je jeho molekulová hmotnost, tím menší je jeho rozpustnost. V olejích není rozpustný ani při vyšších teplotách. V jednosytných alkoholech bobtná, ve vícesytných (např. v glycerolu) se rozpouští (zvláště za tepla). Z kyselin odolává organickým, ve vodných roztocích anorganických kyselin a jejich soli přechází při teplotě nad 160°C na viskózní až nerozpustnou hmotu. Je málo termoplastický. Lze jej použít za teploty od mínus 50°C do plus 130°C, nad 200°C se rozkládá. [37]

2.2.2.2 Využití PVA

Vodného roztoku PVA se využívá jako lepidla, ochranného koloidu při výrobě polyvinylacetátu a polyvinylchloridu i stabilizátoru pro koloidní roztoky, dále jako prostředek na přípravu emulzí, šlichtovacích a apretačních materiálů, pro textilní a papírenský průmysl. [37]

Protože je zdravotně nezávadný, lze ho používat v potravinářském průmyslu (náhražka pektinu při výrobě ovocného želé), či ve zdravotnictví jako materiál na chirurgické nitě. Film PVA měkčeného glycerínem je vhodným nosičem pro náplasti nebo pro přípravu obvazů. Lze jej použít i na vodorozpustné obaly, separátory forem při odlévání nebo laminování a jako materiál na speciální hadice, těsnění a jiné výrobky. [37]

Velmi často se využívají na výrobu speciálních technických vláken (po úpravě formaldehydem, propylalkoholem nebo jinými procesy) nebo na sítě a filtry. [37]

2.2.3 Polykaprolakton (PCL)

„Je biodegradovatelný termoplastický polymer získávaný z ropných produktů nikoliv z obnovitelných zdrojů. Má dobrou odolnost vůči vodě, olejům a rozpouštědlům. Má dobré mechanické vlastnosti a rychlost degradace je pomalejší než u PGA i PLA. Komerčně se používá jako kopolymer s PLA a PGA v lékařství a jeho směs se škrobem (60% škrob 40% PCL) se prodává pod označením Mater-bi pro výrobu kompostovatelných sáčků a pytlů.“ [33]

2.2.4 Mater-Bi

Mater-bi je obchodní název biodegradabilního termoplastického materiálu, není to čistý polymer, je to směs biopolymeru na bázi škrobu a aditiv určující jeho vlastnosti. Materiál je vyroben z kukuřičného škrobu, tedy z obnovitelných surovin. Tento materiál je plně biodegradabilní dle normy EU (EN 13432), rychlost biodegradace je do značné míry závislá na prostředí, ve kterém biodegradace probíhá. V intenzivní fázi komunálního kompostování se Mater-Bi sáček rozloží za 3 týdny, v domácím kompostu nebo v půdě se tento materiál může rozkládat i déle než 1,5 měsíce. Dalším faktorem ovlivňující biodegradaci je tloušťka materiálu.

Díky své relativně vysoké ceně (oproti konvenčním PE sáčkům asi 2,5x dražší) se tento materiál používá téměř výhradně na výrobu biodegradabilních sáčků pro sběr bioodpadu. Vyšší cena sáčků je kompenzována dosažením vyšší jakosti konečného kompostu, který není znečištěn zbytky konvenčních plastových fólií, jako při používání normálních (PE) sáčků. O narůstající oblibě tohoto

materiálu svědčí i fakt, že tyto sáčky používá téměř denně 15 000 000 lidí po celé Evropě od Itálie, přes Belgii, Německo až po Norsko či Finsko. [39]

2.2.5 Kyselina polyglykolová (polyglykoid - PGA)

Tento polyester je strukturně podobný PLA a vyrábí se podobným způsobem přes ROP glykoidu. Má krystalinitu 37-75%. Biodegradace probíhá mnohem rychleji než u PLA. Jeho hustota je 1.5-1.7 kg.m-3. Je nerozpustný ve většině organických rozpouštědlech. Je náchylný vůči hydrolýze a rychle se degraduje. Proto nachází uplatnění její kopolymery s PLA a kaprolaktonem a to hlavně v lékařství.[47]

3 VYUŽITÍ BIOPOLYMERU V SOUČASNOSTI

Vzhledem k modernímu ekologickému trendu, který spočívá v používání recyklovatelných materiálů, biodegradabilních prostředků, ekologicky nezávadných přípravků lze usoudit, že biopolymery poskytují mnoho možností využití.

Počátkem druhé poloviny 20. století se začíná věnovat biopolymerům větší pozornost nejen z hlediska určování a vylepšování jejich charakteristických vlastností, ale i z hlediska zjednodušení výroby, snížení jejich cen a rozšíření jejich aplikace v medicíně, potravinářství, chemickém průmyslu a dalších odvětvích.

V současnosti je výroba biopolymerů z některých hledisek nákladnější v porovnání s běžnými polymery. Avšak to neodrazuje malé podniky a velké investory natolik, aby se nezajímaly o výrobu biopolymerů v těch oblastech, kde se jejich vlastnosti uplatňují více než vlastnosti dosavadních materiálů.

Pro přehlednost je v tabulce 7 výčet výše zmíněných biopolymerů.

Typ biopolymeru	Název biopolymeru	Průmyslové využití
Přírodní biopolymery	Celulosa	Papírenství, textilní, biotechnologický
	Škrob	potravinářský, chemický, biotechnologický
	Chitin	chemický, lékařský, biotechnologický
	Xylan	potravinářský, biotechnologický
	Pektinová kyselina	potravinářský, biotechnologický
	Inulin	medicinský, biotechnologický
	Glykogen	medicinský, biotechnologický
	Hyaluronová kyselina	medicinský, biotechnologický
	Proteiny	medicinský, biotechnologický
	Nukleov kyseliny	medicinský, biotechnologický
Syntetické biopolymery	Biopolyestery PHA	medicinský, potravinářský, chemický, biotechnologický
	Biopolyestery PHB	medicinský, potravinářský, chemický, biotechnologický
	Polyacid PLA	medicinský, potravinářský, chemický, biotechnologický
	Polyvinilalkohol PVA	medicinský, potravinářský, chemický, biotechnologický
	Polykaprolakton PCL	potravinářský, chemický
	Mater - Bi	potravinářský, chemický
	Polyglikoid PGA	medicinský

Tabulka 7: Využití biopolymerů v současnosti.

3.1 Materiály z biopolymerů

Jedním z nejznámějších přírodních polymerů, se kterým se setkáváme v každodenním životě, je celulóza. Využití nalézá v mnoha odvětvích, je základem pro papírenský průmysl, textilní průmysl. Je hlavní složkou papíru, vláken jako jsou len, konopí nebo bavlna. Její derivátem je acetát celulózy takzvaná viskóza, sloužící jako základní surovina pro výrobu umělého hedvábí nebo celofánu. Nitráty celulózy jsou známy jako střelná bavlna používaná k výrobě výbušnin.

Škrob slouží jako základní surovina pro výrobu kyseliny mléčné, ze které se vyrábí PLA. Obecné využití škrobu v potravinářském průmyslu je známo. Škrob se používá například i v kvasném průmyslu, ve farmacii, k výrobě lepidel, nátěrů a apretur a pro výrobu škrobových derivátů.

Stopy lepidel připravených z pšeničného škrobu byly nalezeny na egyptských papyrech datovaných kolem roku 3 500 př. n. l. Rovněž staré čínské písemnosti se dochovaly na materiálech vyrobených pomocí škrobu. Také v Evropě se používal po dlouhou dobu jako základní surovina pro výrobu pudrů, zásypů a při úpravě textilií.[43]

Chitin má hlavní využití díky své houževnatosti, tvrdosti a snadné biodegradaci v některých chirurgických pomůckách.[10]

Xylan má využití v potravinářském průmyslu jako součást krmiva pro zvířata. [12]

Hyaluronová kyselina je používána ve farmaceutickém průmyslu díky svým léčebným a omlazujícím účinkům. Zvláště jsou využívány její soli jako například hyaluran sodný v potravinových doplncích. Ten se vyskytuje v mezibuněčném prostoru, kde slouží jako cílený nosič účinných látek, např. vitamínů. Posiluje organismus, který se pak dokáže bránit přichozím bakteriím a virům. Výrobek společnosti Dacom Pharma s názvem Apisel obsahuje 20 mg hyaluronanu hořečnatu-sodného. [44]



Obrázek 29: Potravinový doplněk obsahující sůl biopolymeru kyseliny hyaluronové. [44]

Proteiny mají obecně velký význam v potravinářském průmyslu. Proteiny jsou obsaženy ve velkém množství v potravinových doplňcích pro sportovce, zvířata a také se používají podle svého druhu v medicíně.



Obrázek 30: Velké balení proteinu pro sportovce a kulturisty. [45]

Nukleové kyseliny mají význam v oblasti medicínské a biotechnologické. Zde se využívají nukleové kyseliny především v analytické chemii a genovém inženýrství.

Biopolyestery mají podle mnohých studií obrovské využití v mnoha oblastech. Například biopolymer PHA může mít využití jak v průmyslové tak v medicínské oblasti.

PHA může být průmyslově využit jako: [41]

- Obalové materiály, pytle, sáčky.
- Biologicky rozložitelné nosiče na herbicidy, pesticidy a hnojiva.
- Jednorázové obaly, nebo nosiče složité pro separaci a recyklaci jako jsou plenky, hygienické ubrousky a kuchyňské potřeby.
- Křídové papíry pro výrobu obalů na mléko a nápoje (snadnější recyklace).
- Různé výrobky původně vyrobené ze syntetických polymerů.

PHA může být medicínsky využit jako:

- Nosiče léku pro řízené uvolňování.
- Chirurgické nitě, tampóny, obvazy.
- Ortopedické výrobky, dlahy pro srůstání kostí.
- Membrány kompatibilní s krví.

Využití biopolymeru PHB a PHBV je díky svým specifickým vlastnostem různorodé. Aplikace PHBV je vhodná zvláště díky své biodegradabilitě. Vyrábějí se z něj polyolefinové nádoby, plastické folie, tašky, obaly na kosmetické výrobky, nádoby na motorové oleje, jednorázové holicí strojky, kuchyňské folie, plenky a hygienické kapesníčky. V lékařské medicíně se používá k výrobě mikrokapslí, které jsou vneseny podkožně v podobě suspenze, nebo jsou lisovány v tabletách a užívány orálně. [6]

Polyacid se v lékařství využívá díky své biologické kompatibilitě, tedy díky své schopnosti vstřebat se do lidského organismu. V 70. letech byla vyvinutá látka zvaná VICRYL, což je kopolymer glykoidu a L-laktidu. Ta se používá jako samovstřebatelná nit k chirurgickým operacím. Poslední novinkou je materiál VICRYL PLUS (viz obrázek 31), který je navíc potažen antibakteriální látkou, která brání případnému zánětu rány. Vicryl není jediným produktem z této oblasti, běžně se používají i jiné materiály na bázi polylaktidu, polyglykoidu, polykaprolaktonu a jejich kopolymerů prodávané pod názvy DEXON, BIOSORB aj. [33]



Obrázek 31: Chirurgické nitě vyrobené z PLA. [46]

Další využití PLA je výroba ortopedických implantátů. Na univerzitě v Tallahassee vytvářejí vědci z PLGA (Polylaktid/glykoid - kopolymer) pěnu, kdy jednotlivé bublinky tvoří matici, na které se snaží vypěstovat funkční plicní tkáň. [33]

Firma Panasonic používá PLA jako obal pro baterie, směsi PLA se používají jako výplň dveří automobilů a jiných částí interiéru vozu u společnosti Toyota. Směsi PLA jsou použity i k výrobě schránek přenosných počítačů u japonské společnosti Fujitsu. Vlákná z polylaktidu našly uplatnění i při výrobě koberec, matrací a jiných textilních produktů. [33]

Syntetické biopolymery typu polykaprolaktonu (PCL) společně s materiálem Mater – Bi, které si jsou svými vlastnostmi podobné, jsou využívány především pro výrobu obalových materiálu a pytlů na biologicky rozložitelný odpad (viz obrázek 32). Polyglykoid (PGA) se využívá především v lékařství.

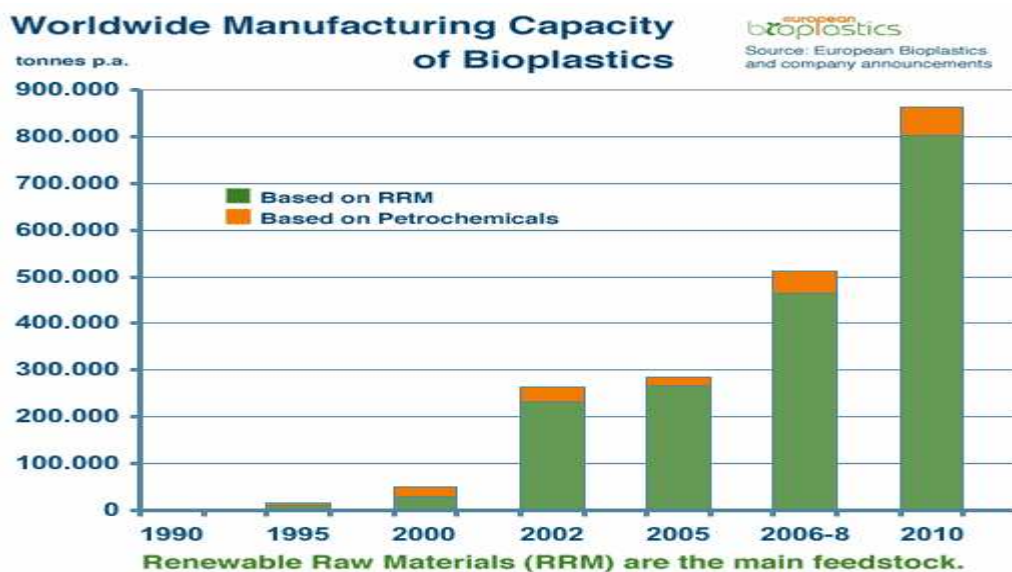


Obrázek 32: Pytle na biologický rozložitelný odpad z biopolymeru Mater-Bi. [39]

3.2 Ekonomické aspekty biopolymerů

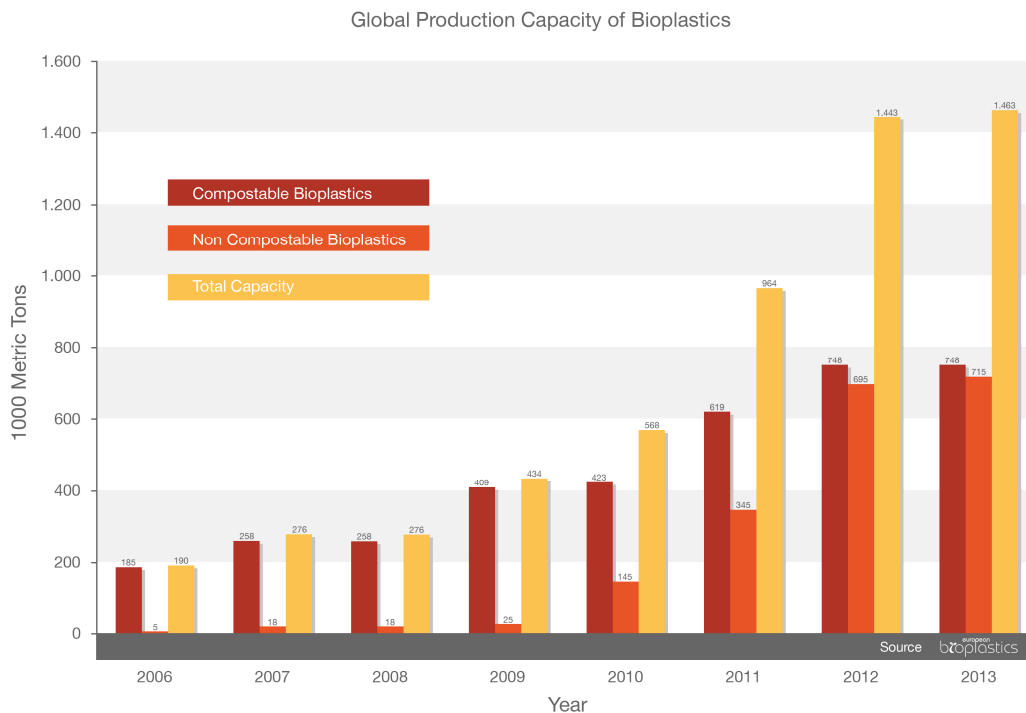
Z hlediska ekonomického bychom mohli podle studií usoudit, že rozvoj společně s produkcí biopolymeru roste. To vše potvrzuje trend v grafickém znázornění na obrázku 33. Je možné předpokládat, že s rostoucí produkcí se bude zvětšovat nabídka produktů vyrobených z biopolymeru a tím se zvýší i jejich využívání.

V roce 2005 byla celková kapacita produkce bioplastů téměř 300 000 tun, z čehož téměř polovinu (140 000 tun) zaujímala produkce PLA firmy Cargill Dow. Zbytek biopolymerů produkovali menší výrobci jako BIOP, BASF, Metabolix a jiné. Odhadovaná celosvětová produkce polyolefinů v roce 2012 bude asi 170 miliónů tun, zatímco odhadovaná produkce bioplastů by měla dosáhnout okolo 850 000 tun. Je tedy zřejmé, že alespoň v blízké době se neočekává masová náhrada běžných plastů biopolymery. [33]



Obrázek 33: Světová spotřeba bioplastů v letech 1990 – 2010. [33]

Na sloupovém grafu (obrázek 34) můžeme vidět produkci a předpokládanou produkci v letech 2006 – 2013 pro kompostovatelné bioplasty (biopolymerů), (Compostable bioplastic), nekompostovatelné bioplasty (Non compostable Bioplastic) a celkovou kapacitu (Total Capacity). Trend je jednoznačný. Produkce bioplastů bude v budoucnosti růst.



Obrázek 34: Globální produkce bioplastů od roku 2006 s prognózou do roku 2013. [48]

V tabulce 8 je uvedeno několik největších světových producentů základních biopolymerů, které se používají k výrobě dalších produktů s biodegradabilními vlastnostmi. Jedná se o produkci v posledních letech. Pro porovnání jsou zde uvedeny i ceny produktu. Pro převod bylo použito měny 18,5 Kč/dolar a libra o míře 0,454 kg.

Produkt	Společnost	Lokalita	Kapacita (tuny)	Cena, \$/lb	Cena Kč/libru	Cena Kč/kg
PLA	NatureWorks	US	140 000	0.85-1.20	15,725 - 23,16	34,6 - 51
PLA	Hisun	China	5 000	1.25	23,16	51
PHAs	Metabolix	US	300/50,000 (2010)	2.50-2.75	41,66 - 50,88	91,76-112
PHBV	Tianan	China	2 000	2.40-2.50	44,4 - 46,25	97,8-101,9
Mater-Bi	Novamont	EU	75 000	2.0-3.0	37 - 55,5	81,5-122,3

Tabulka 8: Hlavní výrobci biopolymerů na světě. [40]

V následující tabulce 9 jsou další světoví výrobci, kteří zaujímají přední postavení v produkci biopolymerů.

Obchodní název	Výrobce	Země	Polymer - základ
ARBOFORM	Tecnaro	DE	Ligninový termoplast
BIOPOL	ICI/MBL	GB	PHB/PHV
BIOFLEX	FkuR	DE	PLA
BIOPHAN	Treofan	DE	PLA
MATER-BI	Novamont	IT	Škrob/PCL
METABOLIX	PHA Metabolix	US	PHA/PHB
NATURE WORKS	Cargill Dow	US	PLA
NODAX	Procter&Gamble	US	PHA/PHB
TONE	Union Carbide	US	PCL
TRANSPARIT	Wolff Walsrode	DE	Regenerovaná celulóza

Tabulka 9: Další výrobci biopolymerů na světě. [33]

3.3 Ekologické aspekty biopolymerů

Vzhledem k biodegradabilitě jsou biopolymery naprosto neškodné pro životní prostředí. Avšak je nutno upozornit, že samotný biopolymer je neškodný, avšak aditiva a přidávané suroviny jako například pigmenty mohou posléze vykazovat ekotoxické, nebo obecně toxické, nebezpečné vlastnosti.

Průzkumy ukázaly, že PLA a některé jiné polymery na bázi obnovitelných zdrojů šetří životní prostředí svou nízkou spotřebou fosilních paliv na jejich výrobu (udává se 30-50%), a také s tím spojenou produkcí plynů jako CO₂ přispívajících ke globálnímu oteplování. Studie taktéž ukázaly, že spotřeba vody na výrobu PLA je srovnatelná, nebo dokonce nižší než u jiných polymerů.[33]

4 ZÁVĚR

Vzhledem k poměrně velkému množství přírodních a syntetických biopolymerů lze usoudit, že je možno vybrat vhodný biopolymer pro výrobu téměř jakékoliv spotřebního výrobku, jehož životnost je odhadována v řádech maximálně několik let.

Z výčtu vlastností biopolymerů lze dojít k závěru, že při porovnání s běžnými polymery, jsou rozhodně ekologičtější a šetrnější pro životní prostředí. Avšak to může být na úkor některých jejich vlastností, zvláště mechanických a fyzikálních.

Další podstatnou myšlenkou, kterou je důležité zmínit, jsou výrobní postupy. Volba výrobních postupů ovlivňuje ekonomiku výroby. To se projevuje nejen v technologických požadavcích na výrobu, ale v konečné fázi také na ceně výrobku. Tyto aspekty jsou ovšem závislé na typu zvoleného biopolymeru. Konzument si výrobek vybírá podle kritérií, jako jsou cena, kvalita, design a jiné, které v důsledku ovlivní poptávku po produktech z biopolymerů. Avšak podle globální produkce a nastupujících trendů lze usoudit, že ústup produktů na bázi biopolymerů nehrozí, naopak v budoucnu lze předpokládat jeho rapidní nárůst, což je dobře nejen pro výrobce a životní prostředí, ale i pro společnost obecně.

Zvýšení produkce biopolymerů je přijatelné i z hlediska ochrany klimatu a snižování skleníkových plynů, neboť výroba spotřebuje méně fosilních paliv, a při jejich spalování vzniká méně CO₂.

Časová biodegradabilita je závislá na několika faktorech, v prvním případě jde o typ polymeru, v druhém jde o prostředí, ve kterém se degraduje a na podmínkách degradace jako je teplota, vlhkost a podobně. Avšak nejdůležitější společná vlastnost všech biopolymerů, je biodegradabilita.

Biopolymery, které jsou vyrobeny z přírodních zdrojů, jako jsou sacharidy v podobě škrobu, mohou mít negativní dopady na cenu potravin a produktu, které využívají stejný zdroj surovin. Toto riziko je možné eliminovat zvýšením efektivity produkce biopolymerů pomocí biotechnologických procesů, při kterých se využívají mikroorganismy ať už přírodní, nebo geneticky upravené. Pozornost je třeba věnovat technologickým postupům jako je pěstování mikroorganismů ve větších

koncentracích a využívání odpadních produktů jako substrátu pro mikroorganismy. Toto je cesta, která nabízí řešení problémů mezi konkurencí výroby biopolymerů, potravin a případně i biopaliv.

Budoucnost biopolymerů je velice příznivá. Jejich využití je široké zejména v medicíně, biotechnologickém, chemickém a potravinářském průmyslu. Hlavní předností biopolymerů je však stále potenciální zvýšení kvality recyklovatelných odpadů a tím větší šetrnost vůči životnímu prostředí, jehož jsme součástí nejen my samotní, ale především naše budoucí generace.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KLOUDA, P. *Základy biochemie*. Nakladatelství Pavel Klouda. Ostrava. 2000. 155 s. ISBN 80-86269-00-5
- [2] Celulóza. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 19.3.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Celul%C3%B3za>>.
- [3] MALACHOVÁ, K. *Ekologie mikroorganismů*. Ostravská univerzita v Ostravě, 2004, 86 s. ISBN 80-7042-996-8
- [4] KODÍČEK, M. *biopolymery. Biochemické pojmy: výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2010-04-11]. Dostupný z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-002/ebook.html?p=biopolymery>.
- [5] VERMACHOVÁ, M.. Biodegradovatelné plasty. *Bioprospect*. 2008, roč. 18, č. 2/2008, s. 33-36.
- [6] FEČKO, P., et al. *Environmentální biotechnologie*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Hornicko - geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství, 2004. 183 s. ISBN 80-248-0700-9.
- [7] Polysacharidy. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 28.4.2009 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polysacharidy>>
- [8] MAKROMOLEKULÁRNÍ LÁTKY (POLYMERY) [online]. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.gvi.cz/files/chemie/mml.pdf>>
- [9] KADUKOVÁ, J., et al. *Minerálne biotechnologie III Biosorpcia kovov z roztokov*, VŠB –TU Ostrava: Ediční středisko VŠB - TUO, 2003. 91 s. ISBN 80-248-0244-9.
- [10] Chitin. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 8.4.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Chitin>>
- [11] WURFEL, M. Soubor:Kapseln.JPG. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 17.4.2005 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Kapseln.JPG>>

- [12] Xylan. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 17.12.2009 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Xylan>>
- [13] ZAMORA. A. Carbohydrates - Chemical Structure *Scientific Psychic* [online]. 2005. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>>
- [14] Pectic acid. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 2.7.2007 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pectic_acid>
- [15] ASKEW, J. 1. Botany Class Introduction, The Internet science room [online]. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.crescent.k12.ok.us/staff/jaskew/ISR/botzo/botanyintro.htm>>
- [16] Kyselina hyaluronová. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 29.12.2009 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_hyaluronov%C3%A1>
- [17] OBRUČA, S. Bioplasty – materiály budoucnosti I. Gate2Biotech - *Biotechnologický portál - Vše o biotechnologiích na jednom místě*. [online]. 25.9.2007. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.gate2biotech.cz/bioplasty-materialy-budoucnosti-i/>>ISSN 1802-2685
- [18] Bílkovina. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 9.4.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%ADlkovina>>
- [19] JACQUEL, N., et al. *Isolation and purification of bacterial poly(3-hydroxyalkanoates)*. Biochemical Engineering Journal 39 (2008) 15–27
- [20] Polyhydroxyalkanoates *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 29.3.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Polyhydroxyalkanoate>>
- [21] To develop post-consumer PLA (Polylactic acid) use. *Bio-Pol Blog* [online]. 7.4.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://biopol.free.fr/index.php/page/2/>>
- [22] PHA-synthesizing Microorganisms. PolyFerm Canada [online]. 2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <http://polyfermcanada.com/images/pha/microorganismtable.png> PHA>

- [23] JOGDAND, S. N. BIOPOL - PHB Accumulation in Micro-organisms - General structure & Properties of PHA. BIOPOL [online]. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://members.rediff.com/jogsn/BP6.htm>>
- [24] Polypropylen. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 5.11.2009 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polypropylen>>
- [25] KAŠÁKOVÁ, H. *Výroba plastů pomocí bakterií: Bakalařská práce*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Hornicko - geologická fakulta, 2009. 32 s.
- [26] COPPOLA, S. 3. Struttura cellulare. *Università degli Studi di Napoli Federico II* [online]. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://wpage.unina.it/sacoppol/GuidaMicrogen/3Gener.htm>>
- [27] SVETLIK, D. Wella [online]. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <http://www.penelopa.cz/index.php?page=1&pod_page=13>
- [28] Bacteria don't have to be icky a [online]. 7.2.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <http://nikhil.superfacts.org/archives/2010/02/bacteria_dont_h.html>
- [29] Papain. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 22.2.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Papain>>
- [30] Kuličkové mlýny Eirich, typ MaxxMill. AL-MO s.r.o. *encyklopedie* [online]. 22.2.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.al-mo.cz/cs/misice-eirich.html>>
- [31] BRANTLEY, L. S. IMAGES OF RECENT RESULTS. [online]. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.essc.psu.edu/~brantley/metha.html>>
- [32] OBRUČA, S. Bioplasty – materiály budoucnosti II. Gate2Biotech - *Biotechnologický portál - Vše o biotechnologiích na jednom místě*. [online]. 28.9.2007. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW <<http://www.gate2biotech.cz/bioplasty-material-budoucnosti-ii/>> ISSN 1802- 2685
- [33] KUCHARCZYK, P. *Kyselina mléčná a syntéza polylaktidu: Bakalařská práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2008. 61 s.

- [34] Nextgen Vending to Distribute Earthpure Organics PLA Eco-Water Bottles. *Sustainable is good* [online]. 16.7.2009. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.sustainableisgood.com/blog/2008/07/ecowater.html>>
- [35] PLA Bottles & Jars. *BIOPAK* [online]. 16.7.2009. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: < <http://www.biopak.com.au/products.php?id=36&PHPSESSID=31381f69df0455a53fb6e55e1210eb3e>>
- [36] Corntainer Corporation [online]. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW <<http://www.corntainercorp.com/>>
- [37] BERNKOPFOVÁ, S. *Stabilita biopolymery modifikovaných PVA blendů v anaerobním prostředí: Diplomová práce práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2007. 58 s.
- [38] TOPIARZOVA, T. *Analýza a sociologický průzkum PLA versus PET láhve: Diplomová práce*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Hornicko - geologická fakulta, 2009. 110 s.
- [39] HABART, J. Mater-Bi, biodegradabilní plast nejen na výrobu sáčků pro sběr BRKO. *Biom.cz* [online]. 12.1.2004. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mater-bi-biodegradabilni-plast-nejen-na-vyrobu-sacku-pro-sber-brko>> ISSN: 1801-2655
- [40] Bioplastics industry has proven to be recession proof - A point of view!. *Bio-Pol Blog* [online]. 19.3.2010. [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://biopol.free.fr/index.php/bioplastics-industry-has-proven-to-be-recession-proof-a-point-of-view/>>
- [41] CHOI, Y., et. al. *Biosynthesis and Biotechnological Production of Degradable Polyhydroxyalkanoic Acid. Biotechnol. Bioprocess Eng.* 1997, 2, 1-10
- [42] Škrob. *Wikipedie otevřená encyklopedie* [online]. 1.2.2010 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0krob>>
- [43] KONVALINKA, P. Škrob – od lepidel po cédečka. *Ekolist.cz* [online]. 7.6.2006 [cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekolist.cz/zprava.shtml?x=1904799>>
- [44] Doplnky stravy – Apisel. *DacomPharma* [online].[cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.dacom.cz/cs/doplňky-stravy/apisel>>

- [45] Protein 70. [online].[cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://m-s.cz/proteiny.protein/70.htm>>
- [46] VICRYL* PLUS Antibacterial (Polyglactin 910). NOVARTIS *animal health* [online].[cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <[http://www.ethicon.novartis.us/ethiconBrands/VICRYLPLUS.h tm](http://www.ethicon.novartis.us/ethiconBrands/VICRYLPLUS.htm)>
- [47] STEINBUCHEL, A., et. al. *Biopolymers for medical and pharmaceutical applications*. 2005. s. 186-219. ISBN 978-3-527-311.
- [48] Production Capacity. European bioplastic *health* [online].[cit.2010-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.european-bioplastics.org/index.php?id=141>>

6 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

6.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: strukturní vzorec celuósy [2]	5
Obrázek 2: Amylopektin [7]	6
Obrázek 3: α -amylosy [7]	7
Obrázek 4: lékové kapsle [11]	7
Obrázek 5: Strukturní vzorec chitinu [10]	9
Obrázek 6: strukturní vzorec xylanu [13]	9
Obrázek 7: strukturní vzorec pektinové kyseliny [15]	10
Obrázek 8: vzorec hyaluronové kyseliny [16]	10
Obrázek 9: Model krystalové struktury trojitě šroubovice kolagenu	11
Obrázek 10: PHB, poly- β -hydroxybutyrát [6]	12
Obrázek 11: Polypropylen [24]	15
Obrázek 12: vzorec poly- β -hydroxyalkonát [23]	15
Obrázek 13: Rozdělení PHA podle charakteru hlavního monomeru	16
Obrázek 14: bakterie <i>Alcaligenes eutrophus</i> [26]	17
Obrázek 15: biodegradabilní obal na šampón Wella [27]	18
Obrázek 16: geneticky upravená bakterií <i>Escherichia coli</i> [28]	19
Obrázek 17: enzym papin [29]	23
Obrázek 18: kuličkový mlýn <i>Eirich, typ MaxxMill</i> [30]	24
Obrázek 19: bakterie <i>Azotobacter vinelandii</i> [31]	25
Obrázek 20: Fischerovy vzorce mléčných kyselin [33]	26
Obrázek 21: polymer kyseliny mléčné, Polyactid, PLA [33]	26
Obrázek 22: Možnosti výroby PLA [33]	27
Obrázek 23: Stereoisomery laktidu [33]	28
Obrázek 24: Množství emisí oxidu uhličitého u různých plastu [38]	32
Obrázek 25: Hydrolýza řetězce PLA a jeho ztráta molekulové hmotnosti [33]	33
Obrázek 26: Láhve vyrobené z PLA upraveno dle [34][35][36]	34
Obrázek 27: Obalové folie na potraviny vyrobené z PLA [32]	34
Obrázek 28: Vzorec polyvinilalkoholu, PVA [37]	35
Obrázek 29: potravinový doplněk obsahující sůl kyseliny hyaluronové [44]	40
Obrázek 30: velké balení proteinu pro sportovce a kulturisty [45]	40

Obrázek 31: chirurgické nitě vyrobené z PLA [46]	41
Obrázek 32: pytle na biologický rozložitelný odpad z Mater-Bi [39]	42
Obrázek 33: světová spotřeba bioplastu v letech 1990 - 2010 [33].....	43
Obrázek 34: Globální produkce bioplastu od roku 2006 - 2013 [48]	43

6.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam mikroorganismů které jsou schopny akumulovat PHB. [6] 13	
Tabulka 2: Bioakumulační schopnost PHB u různých mikroorganismů. [23]....	13
Tabulka 3: Porovnání vlastností PHB a PP. [23]	14
Tabulka 4: Typy PHA podle vedlejšího řetězce R. [23]	15
Tabulka 5: Fyzikální vlastnosti L-PLA a DL-PLA. [33]	30
Tabulka 6: Porovnání mechanických vlastností PLA a jiných polymeru. [33] ...	31
Tabulka 7: Využití biopolymeru v současnosti.....	38
Tabulka 8: Hlavní výrobci biopolymeru ve světě. [40]	44
Tabulka 9: Další výrobci biopolymeru ve světě. [33]	44